

NILU: OR 24/99
REFERANSE: O-99010
DATO: APRIL 1999
ISBN: 82-425-1078-4

**Konsentrasjonsfordelingen
av NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5}
i sterke
forurensningsepisoder
i Oslo, Drammen, Bergen
og Trondheim**

Leiv Håvard Slørdal og Dag Tønnesen

Innhold

	Side
Sammendrag.....	3
1. Innledning.....	5
2. Metodebeskrivelse.....	5
2.1 Spredningsberegningene.....	5
2.2 Befolkningsdata.....	15
3. Beregningsresultater.....	15
4. Referanser.....	18
Vedlegg A Resultater for Oslo.....	21
Vedlegg B Resultater for Drammen.....	35
Vedlegg C Resultater for Bergen.....	49
Vedlegg D Resultater for Trondheim.....	63

Sammendrag

Arbeidsgruppe 6 i Vegdirektoratets prosjekt Bedre Byluft har bedt Norsk institutt for luftforskning (NILU) om å utarbeide en oversikt over den romlige konsentrasjonsfordelingen av NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5} i Oslo, Drammen, Bergen, og Trondheim, for typiske situasjoner når konsentrasjonsnivåene er høye, dvs. i forurensningsepisoder.

Arbeidet som er gjennomført bygger i vesentlig grad på modellberegninger NILU tidligere har utført på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (Slørdal, 1998). Svevestøvberegningene i Trondheim er imidlertid blitt utført på to alternative måter. Den ene beregningsmåten er identisk med metodikken som er benyttet i de øvrige byene, mens den andre gjør bruk av en utslippsmodell for trafikkgenerert svevestøv som er i overensstemmelse med den nye utslippsmodulen i VLUFT-4.26. Denne nye modulen tar hensyn til målinger som viser at de vegnære svevestøvkonsentrasjonene er mye høyere i Trondheim enn i Oslo, Drammen og Bergen.

Målet med prosjektet har vært å fremskaffe informasjon om hvilke NO₂-, PM₁₀- og PM_{2.5}-konsentrasjoner som inntraff på bybakgrunnsnivå (gjennomsnittlige bakkekonsentrasjoner i km²-ruter) når man betrakter et gjennomsnitt av de 10 mest alvorlige episodene vinteren 95/96 i Oslo, Drammen og Bergen. For Trondheim ble vinteren 94/95 modellert, siden de nødvendige meteorologiske inngangsdataene bare forelå for denne perioden. De beregnede gjennomsnittskonsentrasjonene er videre benyttet sammen med informasjon om befolkningens bostedfordeling for å angi hvilke konsentrasjonsnivåer befolkningen utsettes for. De beregnede konsentrasjonsfordelingene skal danne grunnlag for myndighetenes arbeid med å fastlegge grenseverdier for igangsetting av utslippsreducerende akutt-tiltak i byene.

I beregningen av gjennomsnittsfeltene er det ikke tatt hensyn til det regionale bakgrunnsbidraget. Estimer av variasjonsbredden i bakgrunnsverdiene av de ulike komponentene i de fire byene er imidlertid angitt i tabellform i rapporten, slik at dette bidraget kan trekkes inn i vurderingen av det totale konsentrasjonsnivået.

Figurer som viser de gjennomsnittlige konsentrasjonsverdiene i de 10 verste episodene, er vist for hver komponent og for hver by i Vedlegg A til D. I vedleggene vises også fargekontur-figurer av feltet som framkommer når de viste gjennomsnittsfeltene multipliseres med befolkningsfordelingen. Feltene er framkommet ved å multiplisere feltene rute for rute, og de resulterende feltverdiene har derfor benevnelse: personer·µg/m³. Vi har her valgt å benevne dette feltet for *Befolkningsbelastningen*, selv om vi ikke har benyttet noen terskelverdi.

Informasjonen som er visualisert i figurene som viser befolkningsbelastningen, er også framstilt ved hjelp av tabeller i vedlegg A til D. Disse tabellene angir hvor mange personer som bor i områder hvor de ifølge gjennomsnittsfeltene utsettes

for konsentrasjoner over ulike nivåer. I tabellen angis både antall mennesker innenfor forskjellige intervaller, samt den totale andel av befolkningen som utsettes for konsentrasjoner over angitte intervallgrenser.

Siden den alternative utslippsmodellen for svevestøv som er benyttet i Trondheim gir uforholdsmessig høye svevestøvkonsentrasjoner, har vi for Trondheim også valgt å presentere svevestøvresultatene som beregnes når den opprinnelige utslippsmodellen benyttes (dvs. utslippsmodellen som er brukt i de tre øvrige byene). Disse resultatene er vist i Figur D4 og Tabell D4 for PM₁₀, og i Figur D5 og Tabell D5 for PM_{2,5}; se vedlegg D. Sammenlikning mellom beregnede og målte døgnverdier i Rådhusparken (bybakgrunnsstasjon) i Trondheim viser klart best samsvar når den opprinnelige metoden benyttes, og vår anbefaling er derfor at disse resultatene anvendes i det videre arbeidet.

I tabellen nedenfor vises høyeste beregnede ruteverdi i gjennomsnittsfeltet, sammen med den tilsvarende maksimale time- eller døgn-konsentrasjonen som er beregnet i løpet av beregningsperioden for de ulike komponentene.

Tabell A: *Maksimumskonsentrasjonen i de beregnede gjennomsnittsfeltene av de 10 "verste" episodene, og den beregnede maksimale time- eller døgn-konsentrasjonen gjennom hele beregningsperioden (angitt i: $\mu\text{g}/\text{m}^3$).*

NO ₂ (Time)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Time)
Oslo:	137,4	162,7
Drammen:	145,1	162,0
Bergen:	176,0	188,0
Trondheim:	186,4	215,5

PM ₁₀ (Døgn)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Døgn)
Oslo:	84,2	133,6
Drammen:	45,0	55,2
Bergen:	73,7	122,2
Trondheim:	118,2 (326,4)*	158,5 (448,6)*

PM _{2,5} (Døgn)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Døgn)
Oslo:	57,9	71,4
Drammen:	23,5	30,6
Bergen:	60,0	112,7
Trondheim:	34,7 (65,5)*	44,2 (77,5)*

* Parentesverdiene for PM₁₀ i Trondheim er verdiene som beregnes når den nye utslippsmodellen for svevestøv (dvs. utslippsmetodikken i VLUFT-4.26) benyttes i Trondheim.

Konsentrasjonsfordelingen av NO₂, PM₁₀ og PM_{2,5} i sterke forurensningsepisoder i Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim

1. Innledning

Arbeidsgruppe 6 i Vegdirektoratets prosjekt Bedre Byluft har bedt Norsk institutt for luftforskning (NILU) om å utarbeide en oversikt over den romlige konsentrasjonsfordelingen av NO₂, PM₁₀ og PM_{2,5} i Oslo, Drammen, Bergen, og Trondheim, for typiske situasjoner når konsentrasjonsnivåene er høye, dvs. i forurensningsepisoder.

Arbeidet som er gjennomført bygger i vesentlig grad på modellberegninger NILU tidligere har utført på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (Slørdal, 1998). Svevestøvberegningene i Trondheim er imidlertid blitt utført på to alternative måter. Den ene beregningsmåten er identisk med metodikken som er benyttet i de øvrige byene, mens den andre gjør bruk av en utslippsmodell for trafikkgenerert svevestøv som er i overensstemmelse med den nye utslippsmodulen i VLUFT-4.26. Denne nye modulen tar hensyn til målinger som viser at de vegnære svevestøvkonsentrasjonene er mye høyere i Trondheim enn i Oslo, Drammen og Bergen.

Målet med prosjektet har vært å fremskaffe informasjon om hvilke NO₂-, PM₁₀- og PM_{2,5}-konsentrasjoner som inntraff på bybakgrunnsnivå (gjennomsnittlige bakkekonsentrasjoner i km²-ruter) i de 10 mest alvorlige episodene vinteren 95/96 i Oslo, Drammen og Bergen. For Trondheim ble vinteren 94/95 modellert, siden de nødvendige meteorologiske inngangsdataene bare forelå for denne perioden. De beregnede konsentrasjonsfordelingene er videre benyttet sammen med informasjon om befolkningens bostedfordeling for å angi hvilke konsentrasjonsnivåer befolkningen utsettes for. De beregnede konsentrasjonsfordelingene skal danne grunnlag for myndighetenes arbeid med å fastlegge grenseverdier for igangsetting av utslippsreducerende akutt-tiltak i byene.

I kapittel 2 gis en detaljert beskrivelse av beregningsmetoden og hvilke modellberegninger som er gjennomført. En kort oppsummering av resultatene er gitt i kapittel 3, mens hovedresultatene i form av tabeller og figurer er gitt for hver by i vedlegg A til D.

2. Metodebeskrivelse

2.1 Spredningsberegningene

Utslippsdata

Spredningsberegningene tar utgangspunkt i estimerte timevise utslippsdata for hver av komponentene. Utslippene gis i kg. pr. time for hver gitterrute. Grunnlagsdataene for disse utslippene er skaffet til veie av Statistisk Sentralbyrå (SSB) i samarbeid med NILU. Det må her understrekes at kvaliteten på sprednings- og eksponeringsberegningene som presenteres i denne rapporten i stor grad er

avhengige av at utslippsestimatene er riktige. Alle konklusjoner som trekkes på grunnlag av beregningsmaterialet er derfor gitt under forutsetning av at utslippstallene er korrekte. Selve produksjonen av de endelige utslippstallene er gjort med modellsystemet AirQUIS (Air Quality Information System), som er utviklet ved NILU. For bruk i spredningsmodellen deles utslippsdataene inn i følgende tre hovedkategorier:

- 1) Arealfordelte trafikkutslipp; innbefatter alle utslipp fra veitrafikk. Disse utslippene gis for hver time som en romlig middelværdi for hver km² rute.
- 2) Arealfordelte fyringsutslipp; innbefatter alle stasjonære utslipp som er for små til å klassifiseres som egne punktkilder, f.eks. generell husoppvarming, mindre fyrkjeler, utslipp fra småindustri, osv. Utslipet av NO_x (NO og NO₂) fra denne kildekategorien skyldes i første rekke oljeforbrenning, mens partikkelutslippet i stor grad er dominert av vedfyring. Denne kildekategorien gis også i form av en middelværdi for hver km²-rute.
- 3) Punktkilder; innbefatter større utslipp fra store bedrifter/prosessanlegg. Sammen med utslippsmengde gis tilleggsmengde informasjon om nøyaktig posisjon, pipehøyde, utslippshastighet osv.

De arealfordelte fyringsutslippene er basert på forbrukstall for året 1994. Ut fra disse forbrukstallene er det beregnet en utslippsfordeling i tid og rom. Det presiseres her at fyringsutslippene i våre beregninger er blitt temperaturkorrigert for den aktuelle temperaturvariasjonen innenfor beregningsperioden, slik at utslippene er størst i de kalde periodene. Det at utslippsestimatene nødvendigvis må baseres på tidligere års forbrukstall, representerer likevel en ekstra feilkilde i beregningene.

De arealfordelte fyringsutslippene av partikler er fra SSBs side ikke delt inn i størrelsesfraksjoner, (PM₁₀ eller PM_{2,5}). Siden denne utslippskategorien for det meste består av forbrenningspartikler, som i det vesentlige er finfraksjonspartikler, er alt regnet som PM_{2,5}-utslipp i beregningene. Dette betyr at vi opererer med det samme arealfordelte fyringsutslippet i PM₁₀-beregningene som i beregningene av PM_{2,5}. Feilen som denne tilnærmelsen introduserer regnes som ubetydelig, sett i forhold til usikkerhetene i anslagene av de totale partikkelutslippene.

Metoden som er benyttet for estimeringen av trafikkutslippene av PM₁₀ og PM_{2,5}, tar utgangspunkt i trafikkutslippene av NO_x. For å konvertere dette til partikkelutslipp tas det hensyn til trafikkens kjøretøysammensetning og trafikkhastigheten. Grovfraksjonen i partikkelutslippet, d.v.s. forskjellen mellom utslippet av PM₁₀ og PM_{2,5}, anslås deretter ut fra om det er piggdekk sesong (og i så fall andelen av piggdekk-brukere), graden av fuktighet på veibanen og resuspenjonsbidraget. For å bestemme hvor tørr veibanen er, trenger man kjennskap til nedbør, luftfuktighet og temperatur. Timevise observasjoner av nedbør og relativ fuktighet foreligger foreløpig bare for Bergen. For Oslo, Drammen og Trondheim har vi kun hatt tilgang på Det norske meteorologiske institutts observasjoner av relativ fuktighet og skydekke (6 timers verdier) og nedbør (døgnverdier). Disse observasjonene er gjort sentralt i byområdet i Oslo og Drammen, mens målinger foretatt på Værnes er brukt i Trondheim. 6 timers verdiene av relativ fuktighet og skydekke er blitt

interpolert til timeverdier og deretter benyttet for å fordele døgn-nedbøren på timebasis. Som nevnt innledningsvis er to ulike metoder benyttet for utslippsberegningene av svevestøv for trafikkgenerert svevestøv i Trondheim. Den ene metoden benytter en utslippsmodell som er i overensstemmelse med den nylig omarbeidede utslippsmodulen i VLUFT-4.26, mens den andre metoden er identisk med metodikken som er benyttet for de øvrige byene (Slørdal, 1998).

Beregninger gjennomført for Oslo har vist at punktkildene bare bidrar med omlag 1 % til de beregnede maksimumskonsentrasjonene i bakkenivå. Det er utslippene fra de arealfordelte kildene, d.v.s fra trafikk og fyring, som er bestemmende for maksimalverdiene i bakkekonsentrasjonen. Siden punktkildene gir så beskjedne bidrag, og siden opplysningene om punktkildene i Bergen, Drammen og Trondheim foreløpig er svært mangelfulle, er denne kildekategorien bare inkludert i beregningene for Oslo. Dette representerer en systematisk feilkilde for de øvrige byene, men andre feilkilder, både i selve spredningsberegningene og i utslipps-estimatene, ansees som vesentlig større, slik at denne forenklingen kan aksepteres.

Bakgrunnsbidrag

I utslippsestimatene ovenfor er det bare tatt hensyn til kilder innenfor modellområdet. I tillegg til bidraget fra disse lokale kildene, inneholder luften også et regionalt bakgrunnsbidrag som i første rekke skyldes langtransport av forurensninger. Dette bidraget er av større betydning for partiklene enn for NO₂.

I spredningsberegningene som presenteres i denne rapporten er det regionale bakgrunnsbidraget anslått ved å benytte målte døgnverdier av NO₂, sulfat, nitrat og ammonium på de regionale bakgrunnstasjonene i Norge. Dette er målinger som gjøres i områder hvor lokale utslipp er neglisjerbare. Ut fra sulfat, nitrat- og ammoniumskonsentrasjonene er så PM₁₀- og PM_{2,5}-konsentrasjonene beregnet ut fra empiriske relasjoner. Relasjonene som er benyttet er gitt ved:

$$[PM_{10}] = ([SO_4] + [NO_3] + [NH_4]) \cdot 2,5,$$

og forholdet mellom PM₁₀ og PM_{2,5} i bakgrunnen er satt lik

$$[PM_{2,5}] = 0,68 \cdot [PM_{10}].$$

Timeverdier dannes ved lineær interpolasjon mellom døgnverdiene, og disse timeverdiene kan deretter legges til de beregnede konsentrasjonsverdiene innenfor modellområdet. Dette bakgrunnsbidraget er det beste estimatet vi i dag kan gi av tilførselen av NO₂, PM₁₀ og PM_{2,5} fra områder utenfor selve beregningsområdet.

Meteorologiske data

I hver av byene er det bare utført meteorologiske observasjoner på én målestasjon. Stasjonene er derfor forsøkt plassert slik at de gir et mest mulig representativt bilde av de meteorologiske forholdene i de respektive byene. Målingene er utført med kontinuerlig registrerende instrumenter hvor dataene midles til timeverdier. Det bør poengteres at de forskjellige vindmålerne opererer med ulike minimumsgrenser for observerbar vindstyrke. Siden disse målingene benyttes som inngangsdata i den numeriske vindmodellen, har vi valgt å benytte 0.4 m/s som en felles minimumsverdi for vindstyrke. Observerte verdier lavere enn dette settes til denne verdien.

Den atmosfæriske stabiliteten som er av stor betydning i spredningsberegningene er estimert ut fra den observerte vertikale temperaturdifferensen mellom to ulike nivåer i målemasta. Siden vi bare benytter én meteorologisk stasjon, innebærer dette at stabiliteten antas horisontalt homogen i beregningsområdet.

Topografidata

Informasjon om topografien i modellområdene er fremskaffet av Statens kartverk. Ut fra kartverkets digitale terrengmodell, der topografien gis i et rutenett med en punktavstand på omlag 100 x 100 meter, er det konstruert bakkematriser med punktavstand 500 x 500 meter for bruk i den numeriske vindfeltmodellen.

Beskrivelse av vindmodellen (MATHEW)

Spredningen av de fleste luftforurensninger er i stor grad styrt av vindforholdene. Man er derfor helt avhengig av en detaljert kjennskap til vindfeltets variasjon, både i rom og tid, for å kunne beskrive spredningen av ulike forurensninger på en tilfredsstillende måte. Tradisjonelt har man vært henvist til å benytte (statistisk) interpolerte vindfelter, beregnet ut fra et begrenset antall vindobservasjoner, som inngangsdata til spredningsmodellene. På grunn av for få målepunkter har disse vindfeltene ofte vist seg lite egnet som inngangsdata til spredningsberegninger. Spesielt gjelder dette i områder med komplisert topografi.

I løpet av de senere år har man sett en utvikling der vindobservasjonene er blitt supplert med numeriske (datamaskinbaserte) vindfeltberegninger. Slike modeller har gitt mulighet for mer fysisk begrunnede antakelser om vindforholdene også i de deler av modellområdet hvor man ikke har observasjoner.

En modell av denne type er blitt brukt for å skaffe til veie timevise vindfelter i dette prosjektet. Modellen som er benyttet er en såkalt "diagnostisk" modell som på bakgrunn av enkeltstående vindobservasjoner produserer et tredimensjonalt vindfelt i et på forhånd definert gittersystem (Sherman, 1978; Foster et. al., 1997). Beregningene er i vesentlig grad påvirket av vindobservasjonene, men i tillegg tas det hensyn til topografien og de atmosfæriske stabilitetsforholdene. Modellen sørger for at det beregnede vindfeltet er masse-konsistent, hvilket betyr at vindfeltet er korrigert slik at det til enhver tid frakter like store luftmengder inn og ut av gitterboksene.

Vindfeltene ble beregnet for et regulært gitter med horisontal punktavstand på 500 m x 500 m, samt med 40 m gitteravstand i vertikalen. Antall punkter horisontalt ble valgt slik at vindfeltet dekket de på forhånd bestemte beregningsområdene. Vertikalt ble beregningene utført med 30 gitterpunkter for samtlige områder. Dette ga en total modellhøyde i vindfeltberegningene på 1160 m som var omtrent det dobbelte av den maksimale topografihøyden på 560 m i Drammen og Bergen. Maksimumshøyden på topografien i Oslo og Trondheim var noe lavere. Disse punktverdiene ble deretter interpolert til rutenettet som ble benyttet i spredningsberegningene, dvs. til et 1 km x 1 km-rutenett horisontalt og til tre faste nivåer over bakken.

Beskrivelse av spredningsmodellen (EPISODE)

EPISODE er en kombinert Eulersk/Lagrangsk spredningsmodell for beregning av forurensning fra ulike typer kilder (areal-, linje- og punktkilder). Sentralt i modellen står løsningen av massebevaringsligningen for de forurensende stoffene i et fast tredimensjonalt (Eulersk) rutenett. Denne delen av EPISODE kalles her "rutemodellen".

EPISODE regner spredning av forurensning i rutesystemet som en kombinasjon av forflytning (adveksjon) og turbulent utveksling (diffusjon) av de ulike stoffene. Disse prosessene defineres både horisontalt og vertikalt (dvs. i tre dimensjoner).

Horisontal adveksjon regnes numerisk ved å bruke Botts fjerde ordens positive definte skjema i kombinasjon med Marchuk timesplitting (Bott, 1989). Bott-skjemaet er kjent for å ha gode numeriske regneegenskaper (lav kunstig numerisk diffusjon). Horisontal diffusjon regnes numerisk ved hjelp av et enkelt todimensjonalt eksplisitt skjema (Smith, 1985). Vertikalt regner modellen turbulent utveksling mellom lagene på basis av den vertikale turbulens-intensiteten σ_w (Walker et al., 1992; Grønskei et al., 1993). Adveksjonen vertikalt regnes på grunnlag av den vertikale komponenten av vinden slik at modellen totalt sett blir masse-konsistent (divergensfritt vindfelt).

I tillegg inneholder EPISODE subgridskala Lagrangske modeller for beregninger med bedre oppløsning i enkelte delområder (i nærheten av kildene). Subgridskala areal- og linjekildemodellene baserer seg på standard integrerte Gaussiske modeller (Grønskei et al., 1996). Punktkildemodellen baserer seg på en segmentert Gaussisk plume-trajektorie-modell (Walker et al. 1992). Denne kan også ta hensyn til topografien i nærheten av punktkildene. Massen fra de individuelle plume-segmentene overføres til rutenettet når plumene blir omtrent av samme størrelse som rutene i rutenettet, og transporteres deretter som en del av rutemodellen.

I modellberegningene som presenteres her, anvendes EPISODE hovedsakelig som rutemodell. Unntaket er for punktkildene, der subgridskala plume-modellen anvendes.

Meteorologiske data til EPISODE baserer seg generelt på ferdig preprosesserte timevise data for meteorologi i form av:

- vind (styrke og retning)
- temperatur og termisk stabilitet
- horisontal og vertikal turbulens (σ_v og σ_w)
- blandingshøyde, skydekke og nedbør

For beregningene i de fire byene er horisontal og vertikal turbulens (σ_v og σ_w) beregnet ved hjelp av NILUs meteorologiske preprosessor MEPDIM (Bøhler og Guerreiro, 1996). Beregningene er basert på vindstyrke, termisk stabilitet og bakkens beskaffenhet (ruhet) i hver km² rute. Modellberegningene er utført uten å ta hensyn til eventuell tørr- eller våtavsetning.

Beregningene av NO₂ har tatt utgangspunkt i beregninger av NO_x og O_x (NO₂ + O₃) med EPISODE, samt anvendelse av en betingelse om fotokjemisk likevekt (balanse) mellom NO, NO₂ og O₃ i hver gitterrute på timebasis (Grønskei et al., 1997). Estimer av O₃-bakgrunnsverdier for hver av byene er basert på målte konsentrasjoner av O₃ på de mest nærliggende bakgrunnsstasjonene for hver by. Betingelsen om fotokjemisk likevekt har i meget høy grad vært oppfylt i tilsvarende tidligere beregninger (Grønskei et al., 1997).

Beregningsresultatene fra EPISODE produseres i form av timevise konsentrasjoner i rutenettet (middelkonsentrasjoner i bakkenivå), samt i et sett med individuelt plasserte reseptorpunkter.

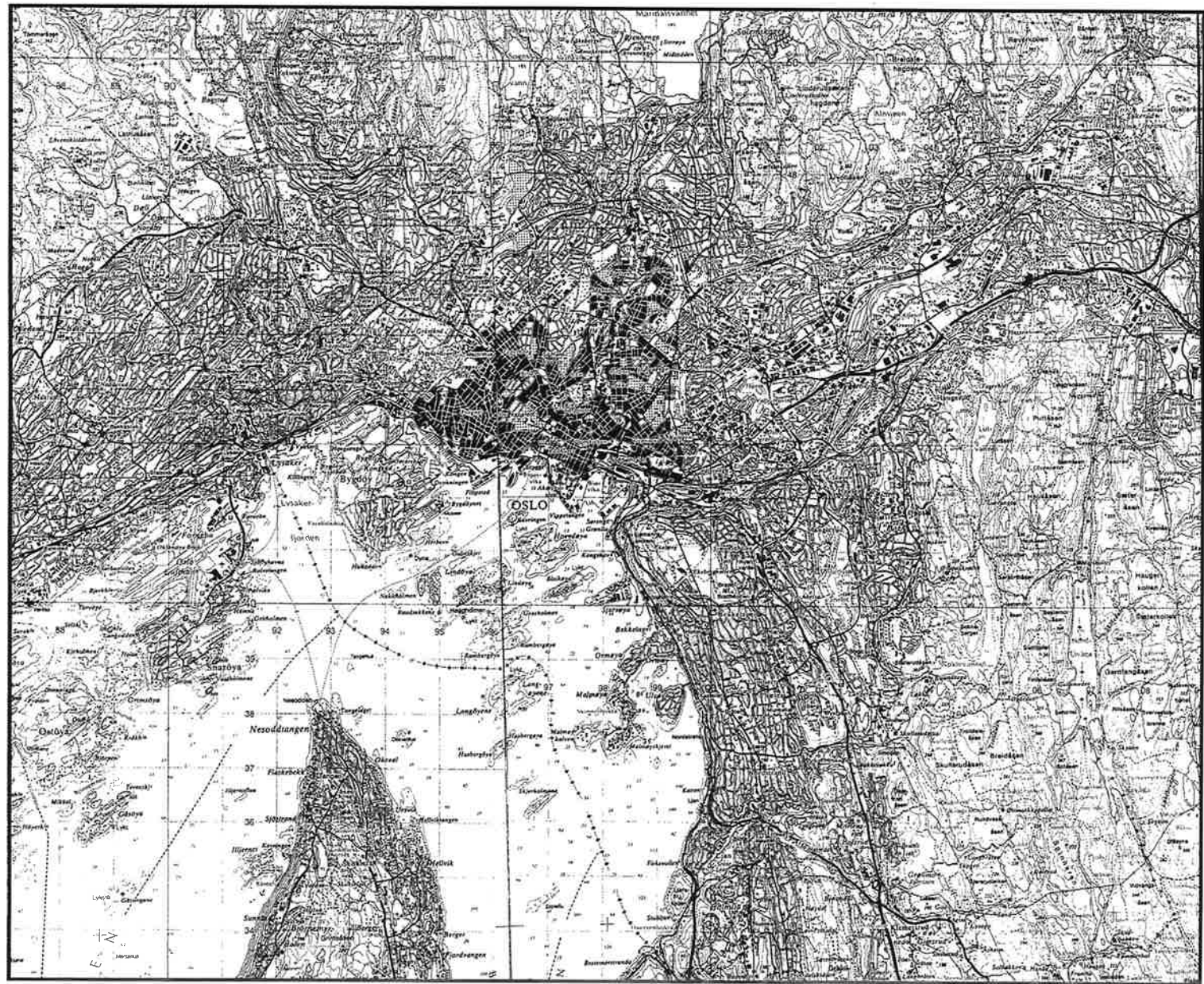
EPISODE har tidligere vært anvendt en rekke steder, bl.a. i Oslo, Grenland i Nedre Telemark og i Teplice i Tsjekia. Modellen ble også brukt i forbindelse med ENSIS-overvåkingssystemet under OL på Lillehammer. For tiden inngår EPISODE i overvåkingssystemene i Oslo, Drammen (AirQUIS) og Grenland (Grønskei et al., 1993). Modellen har vært evaluert mot målinger i Oslo (Larssen et al., 1994; Grønskei et al., 1997) og i Bergen, Trondheim og Drammen (Slørdal og Walker, 1997). EPISODE er tidligere også blitt benyttet i eksponeringsberegninger i disse byene (Slørdal, 1997 og 1998).

Modellområde og beregningsperioder for spredningsberegningene

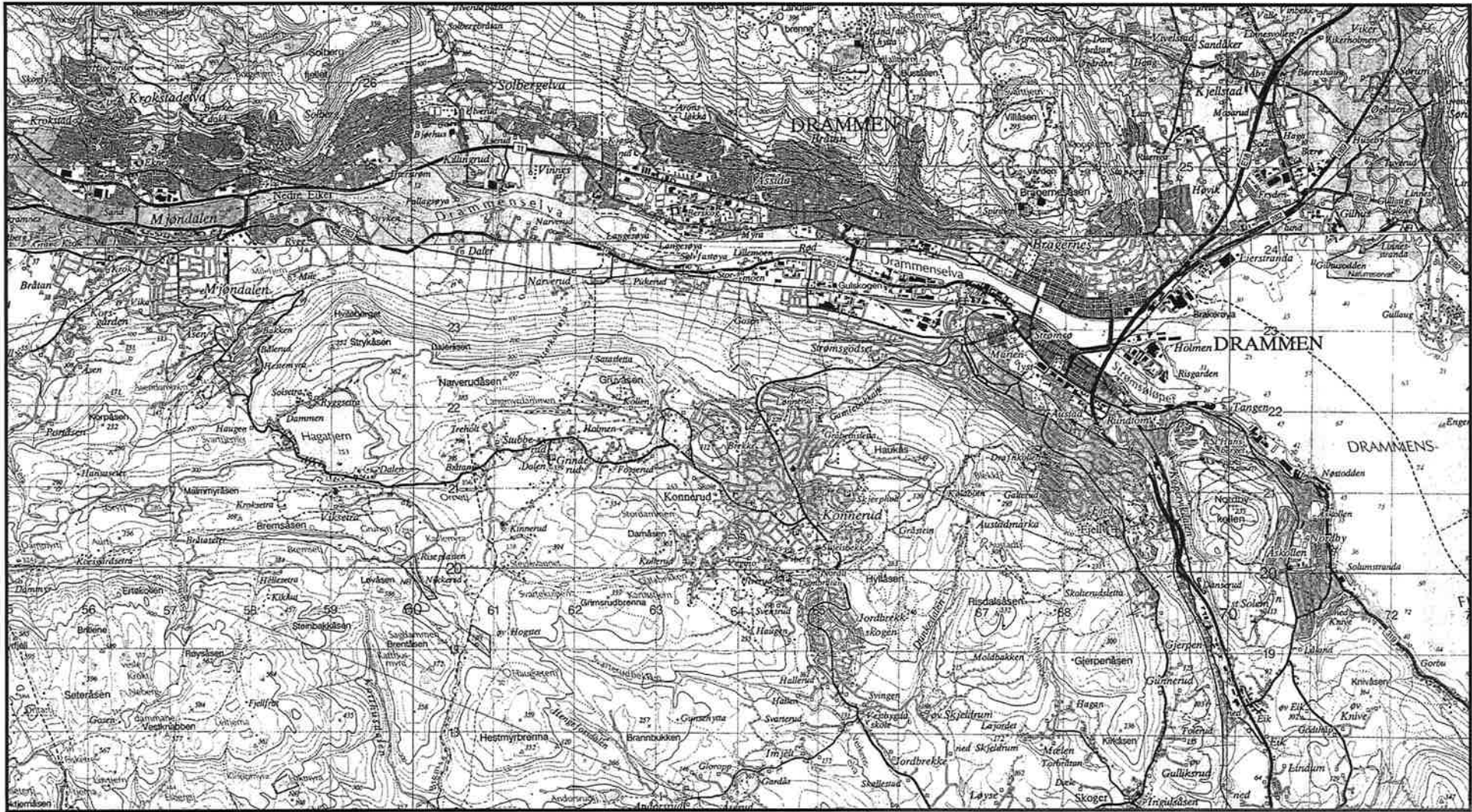
Posisjonen til modellområdets sørvestre hjørne (origo) og områdets utstrekning østover og nordover, er gitt for hver by i Tabell 1. I tillegg er beregningsperiodens start- og slutt-tidspunkt angitt i tabellen. Posisjonene er angitt i km i kartverkets UTM/WGS84 system. Kart som viser modellområdene er gjengitt i Figur 1 - Figur 4.

Tabell 1: Posisjon (UTM/WGS84 i km.) av modellområdets sørvestre hjørne og områdets østlige og nordlige utstrekning i km., samt start- og slutt-tidspunkt for simuleringen.

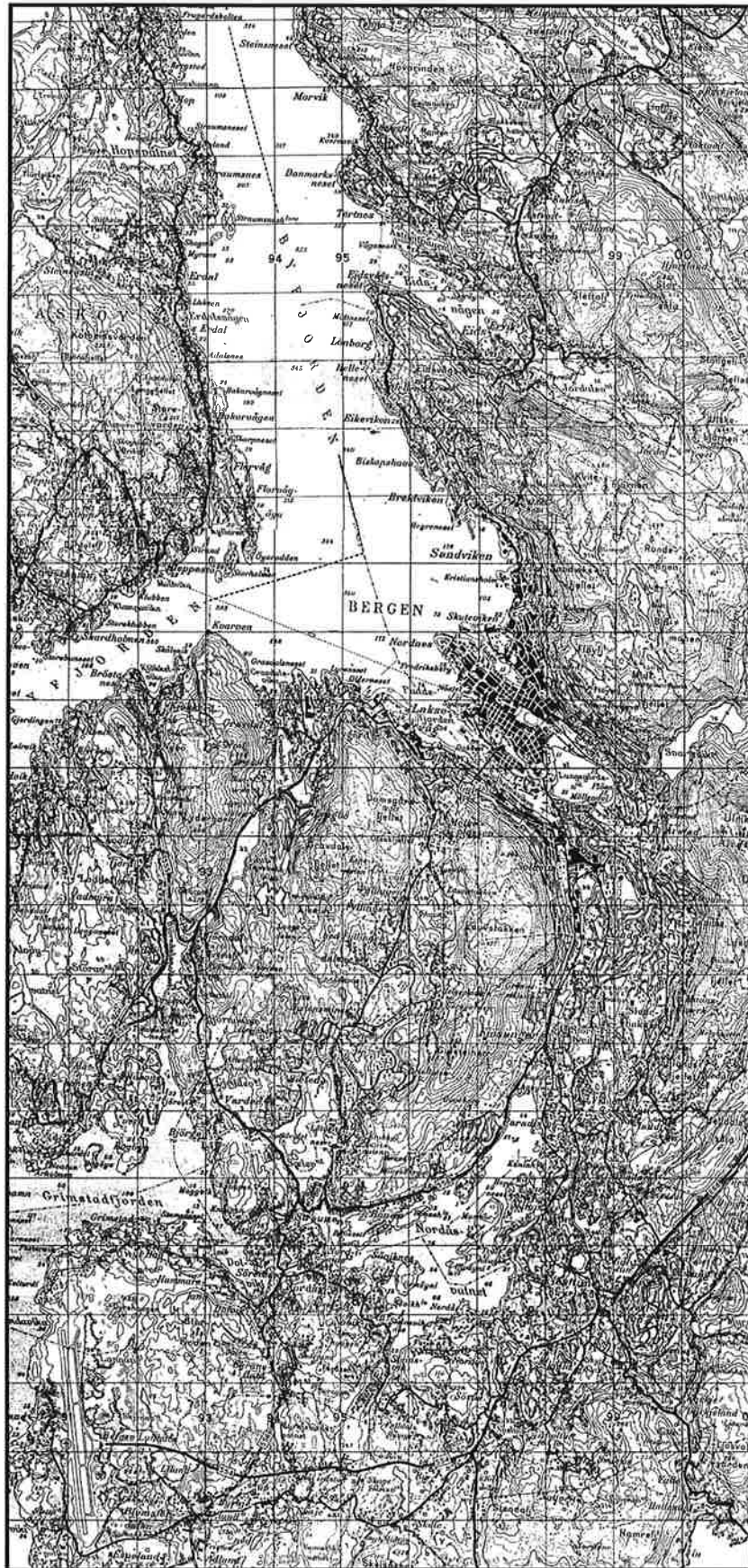
	Øst pos. origo (km)	Nord pos. origo (km)	Østvest utstrek. (km)	Nordsør utstrekn. (km)	Start-tidspunkt for beregning	Slutt-tidspunkt for beregning
Oslo	586,919	6 632,793	22	18	1.10.95 kl 19	31.3.96 kl 24
Drammen	555,000	6 617,000	18	10	1.10.95 kl 01	31.3.96 kl 24
Bergen	290,000	6 688,000	11	23	1.10.95 kl 01	31.3.96 kl 24
Trondheim	564,000	7 022,000	14	16	6.10.94 kl 13	31.3.95 kl 24



Figur 1: Modellområdet for Oslo. Meteorologiske parametere ble målt på Valle Hovin.



Figur 2: Modellområdet for Drammen. Meteorologiske parametere ble målt på Marienlyst.



Figur 3: Modellområdet for Bergen. Meteorologiske parametere ble målt på Florida.



Figur 4: Modellområdet for Trondheim Meteorologiske parametere ble målt ved Erkebispegården.

For Oslo, Drammen og Bergen er beregningene gjort for vinterhalvåret f.o.m. 1. oktober 1995 t.o.m 31. mars 1996. For Trondheims vedkommende foreligger ikke de nødvendige meteorologiske inngangsdataene for denne vinteren, og beregningene for Trondheim er derfor gjennomført for vinterhalvåret 1994-1995. Meteorologiske data manglet også i Trondheim i begynnelsen av oktober 1994, og beregningsperioden startet derfor først den 6. oktober.

Ut fra spredningsberegningene er det produsert konsentrasjonsverdier for NO_2 , PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ for hver $1 \times 1 \text{ km}^2$ rute i modellområdene og for hver time gjennom beregningsperioden. Til bruk i eksponeringsberegningene er det dessuten beregnet døgnmiddelverdier for PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ basert på timeverdiene.

2.2 Befolkningsdata

Statistisk Sentralbyrå har levert data for hver by om befolkningens bostedsfordeling i grunnkretser. Dette er irregulære geografiske områder innenfor hver kommune. Ut fra data om geografiske posisjoner for disse grunnkretsene er det deretter blitt beregnet en befolkningsfordeling i km^2 -rutenettet, som er benyttet i spredningsberegningene. Omregningen fra grunnkretsverdier til ruteverdier er gjort med modellsystemet AirQUIS.

3. Beregningsresultater

Fra det totale beregningsmaterialet er følgende resultater plukket ut:

- De 10 verste NO_2 -episodene. Med episode menes her individuelle timesfelter. De "verste" er plukket ut ved å sortere feltene etter maksimal ruteverdi for NO_2 i hvert av timesfeltene (vilkårlig hvilken rute som har den høyeste verdien i hvert av feltene). Ut fra de 10 utvalgte feltene er det videre beregnet et gjennomsnittsfelt.
- De 10 verste PM_{10} -episodene. Siden SFTs luftkvalitetskriterier foreløpig bare eksisterer for døgnverdier for svevestøv (PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$), er episodene her definert som døgnmidler, midlet for ett og ett kalenderdøgn. De 10 verste døgnmiddelfeltene er plukket ut etter høyeste verdi ett eller annet sted i feltet. De 10 valgte døgnfeltene er deretter midlet til et gjennomsnittsfelt på samme måte som timesfeltene for NO_2 .
- De 10 verste $\text{PM}_{2,5}$ -episodene, midlet på tilsvarende måte som for punktet ovenfor.

Utvalget av episodene er gjort uten hensyn til det regionale bakgrunnsbidraget. I Tabell 2 er imidlertid variasjonsbredden i de estimerte bakgrunnsverdiene for beregningsperioden angitt for de ulike komponentene og for de ulike byene, slik at dette bidraget kan trekkes inn i vurderingen av det totale konsentrasjonsnivået. Middelveidene for bakgrunnsbidraget er gitt i Tabell 3. Siden avstanden mellom Oslo og Drammen er så liten, er identiske bakgrunnsverdier benyttet for disse to byene.

Tabell 2: Variasjonsbredden i bakgrunnsverdier for NO_2 , PM_{10} og $PM_{2,5}$

	NO_2 [$\mu g/m^3$]	PM_{10} [$\mu g/m^3$]	$PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]
Oslo	0,4 – 16,2	0,2 – 53,3	0,1 – 36,2
Drammen	0,4 – 16,2	0,2 – 53,3	0,1 – 36,2
Bergen	0,2 – 15,4	0,1 – 24,7	0,1 – 16,8
Trondheim	0,1 – 4,3	0,1 – 16,3	0,1 – 11,1

Tabell 3: Midlere bakgrunnsverdier for NO_2 , PM_{10} og $PM_{2,5}$

	NO_2 [$\mu g/m^3$]	PM_{10} [$\mu g/m^3$]	$PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]
Oslo	2,46	6,83	4,64
Drammen	2,46	6,83	4,64
Bergen	2,10	4,26	2,90
Trondheim	0,82	1,99	1,35

Gjennomsnittsfeltene er vist som fargekontur-figurer for hver komponent og for hver by i Vedlegg A til D.

I Tabell 4 vises høyeste beregnede ruteverdi i gjennomsnittsfeltet, sammen med den tilsvarende maksimale time- eller døgn-konsentrasjonen som er beregnet i beregningsperioden for de ulike komponentene.

Tabell 4: Maksimumskonsentrasjonen i de beregnede gjennomsnittsfeltene av de 10 "verste" episodene, og den beregnede maksimale time- eller døgn-konsentrasjonen gjennom hele beregningsperioden (angitt i: $\mu g/m^3$).

NO_2 (Time)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Time)
Oslo:	137,4	162,7
Drammen:	145,1	162,0
Bergen:	176,0	188,0
Trondheim:	186,4	215,5

PM_{10} (Døgn)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Døgn)
Oslo:	84,2	133,6
Drammen:	45,0	55,2
Bergen:	73,7	122,2
Trondheim:	118,2 (326,4)*	158,5 (448,6)*

Tabell 4 forts.

PM _{2,5} (Døgn)	Maksimum i gjennomsnittsfeltet av de 10 "verste" episodene	Maksimum beregnet konsentrasjon (Døgn)
Oslo:	57,9	71,4
Drammen:	23,5	30,6
Bergen:	60,0	112,7
Trondheim:	34,7 (65,5)*	44,2 (77,5)*

* Parentesverdiene for PM₁₀ i Trondheim er verdiene som beregnes når den nye utslippsmodellen for svevestøv (dvs. utslippsmetodikken i VLUFT-4.26) benyttes i Trondheim.

I vedleggene vises også fargekontur-figurer av feltet som framkommer når de viste gjennomsnittsfeltene multipliseres med befolkningsfordelingen. Feltene er framkommet ved å multiplisere feltene rute for rute, og de resulterende feltverdiene har derfor benevnelse: personer·µg/m³. Vi har her valgt å benevne dette feltet for *Befolkningsbelastningen*, selv om vi ikke har benyttet noen terskelverdi.

Informasjonen som er visualisert i figurene som viser befolkningsbelastningen, er også framstilt ved hjelp av tabeller i vedlegg A til D. Disse tabellene angir hvor mange personer som bor i områder hvor de ifølge gjennomsnittsfeltene utsettes for konsentrasjoner over ulike nivåer. I tabellen angis både antall mennesker innenfor forskjellige intervaller, samt den totale andel av befolkningen som utsettes for konsentrasjoner over angitte intervallgrenser.

Svevestøvresultatene (PM₁₀ og PM_{2,5}) for Trondheim som er angitt i Tabell 4, viser svært høye verdier når utslippsmetoden i VLUFT-4.26 benyttes. Beregningsresultatene med de to ulike utslippsmetodene i Trondheim er blitt testet mot samtidige døgnmålinger i Rådhusparken (bybakgrunnsstasjon i Trondheim). Resultatene fra denne modelltesten er vist i Tabell 5 for PM₁₀ og Tabell 6 for PM_{2,5}. Som det fremgår av tallene i Tabell 5 og Tabell 6 er det klart best samsvar mellom observert og beregnet verdi når den opprinnelige utslippsmodellen benyttes, og vi anbefaler derfor at disse resultatene benyttes som beregningsgrunnlag i det videre arbeidet. Vi har likevel valgt å presentere resultatene fra begge beregningene i Vedlegg D. De anbefalte beregningsresultatene (med identisk beregningsmetode som i de øvrige byene) er vist i Figur D4 og Tabell D4 for PM₁₀, og i Figur D5 og Tabell D5 for PM_{2,5}.

Ved vurderingen av resultatene er det viktig å huske på at det er benyttet en stasjonær befolkningsfordeling som egentlig er en bostedsfordeling. Vi har med andre ord ikke tatt hensyn til at de enkelte personer i stor grad befinner seg utenfor bostedet på dagtid.

Tabell 5: PM_{10} . Sammenlikning av observerte og beregnede døgn-verdier av PM_{10} for Rådhusplassen (bybakgrunnstasjon) i Trondheim.

	Observert	Opprinnelig beregning	Beregning med VLUFT-4.26 metode
Middelverdi	19,6	21,8	46,0
Max. verdi	140,9	119,6	316,4
Standard-avvik	22,3	24,4	63,6
Korrelasjonskoef.		0,54	0,51

Tabell 6: $PM_{2,5}$. Sammenlikning av observerte og beregnede døgn-verdier av $PM_{2,5}$ for Rådhusplassen (bybakgrunnstasjon) i Trondheim.

	Observert	Opprinnelig beregning	Beregning med VLUFT-4.26 metode
Middelverdi	8,0	10,1	13,9
Max. verdi	35,7	41,4	77,5
Standard-avvik	7,2	8,9	16,2
Korrelasjonskoef.		0,77	0,73

4. Referanser

- Bott, A. (1989) A positive definite advection scheme obtained by nonlinear renormalization of the advective fluxes. *Mon. Weather Rev.*, 117, 1006-1015.
- Bøhler, T. and Guerreiro, C. B. (1996) Verification of the meteorological preprocessor MEPDIM. Kjeller (NILU F 10/96).
- Foster, F., Walker, H., Duckworth, G., Taylor, A. and Sugiyama, G. (1997) User's guide to the CG-Mathew/Adpic models. Version 5.0. Livermore, Lawrence Livermore National Laboratory (Report UCRL-MA-103581 Rev.3).
- Grønskei, K.E., Bartonova, A., Brechler, J., Walker, S.E., Riise, A. and Larssen, S. (1996) Source oriented model for exposure calculations in Teplice area. Kjeller (NILU OR 30/97).
- Grønskei, K.E., Larssen, S. og Walker, S.E. (1997) Nitrogenoksider og oksidanter i byområder. Spredningsberegninger og NO_2 -modell. Kjeller (NILU OR under arbeid).
- Grønskei, K.E. and Walker, S.E. (1993) Evaluation of a model for hourly spatial concentrations distributions. *Atmos. Environ.*, 27B, 105-120.
- Larssen, S. og Hagen, L. O. (1997) Partikkelforurensning fra piggdekk. Kjeller (NILU OR 16/97).

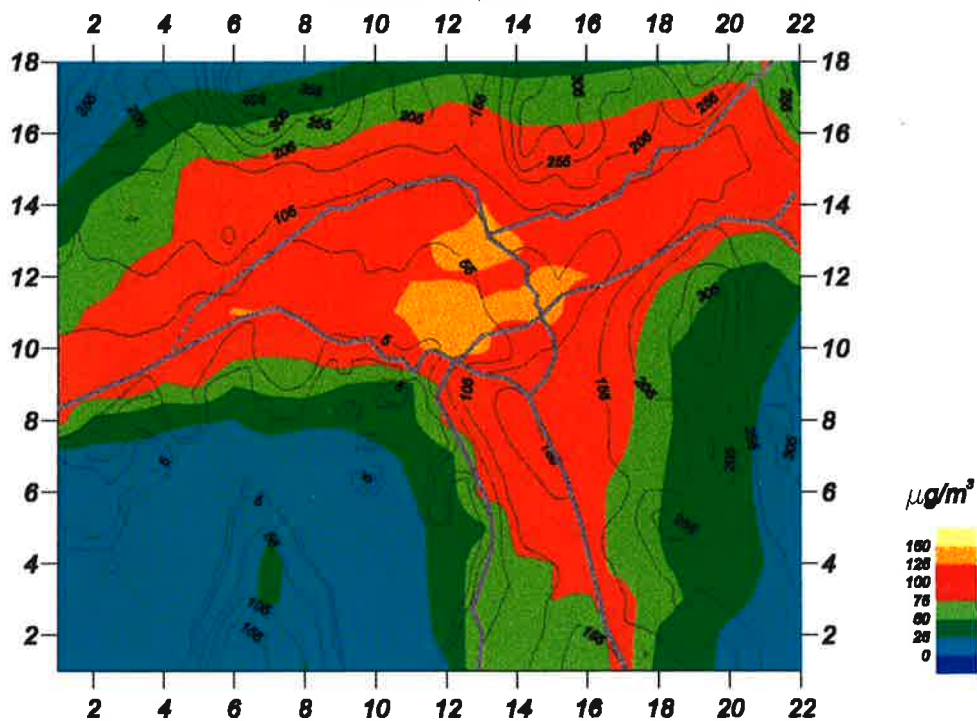
- Larssen, S., Grønskei, K.E., Gram, F., Hagen, L.O. and Walker, S.E. (1994) Verification of urban scale time dependent dispersion model with subgrid elements in Oslo, Norway. In: *International technical meeting on air pollution modeling and its application, 20, Valencia 1993. Air pollution modeling and its application X*, ed. by S.-E. Gryning, and M.M. Millan. New York, Plenum Press, (NATO challenges of modern society 18) (Air pollution and its modeling 10). pp. 91-99.
- Sherman, C.A. (1978) A mass consistent model for wind fields over complex terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 312-319.
- Smith, G.D. (1985) Numerical solution of partial differential equations: finite difference methods. Oxford, Oxford University Press.
- Slørdal, L.H., (1998) Eksponering til luftforurensning i Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Beregning av NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5} for vinteren 1995-1996. Kjeller (NILU OR 38/98).
- Slørdal, L.H., (1997) Beregning av NO₂- og PM₁₀ -eksponering for Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Vinteren 1994-1995. Kjeller (NILU OR 23/97).
- Slørdal, L.H., og Walker, S.E. (1997) Spredningsberegning av NO_x, NO₂ og PM₁₀ for Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Verifikasjon av modell mot målinger. Kjeller (NILU OR 68/97).
- Walker, S.E. og Grønskei, K.E. (1992) Spredningsberegninger for on-line overvåking i Grenland. Programbeskrivelse og brukerveiledning. Lillestrøm (NILU OR 55/92).

Vedlegg A
Resultater for Oslo

Gjennomsnittet av de 10 høyeste timekonsentrasjonene, NO₂ Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

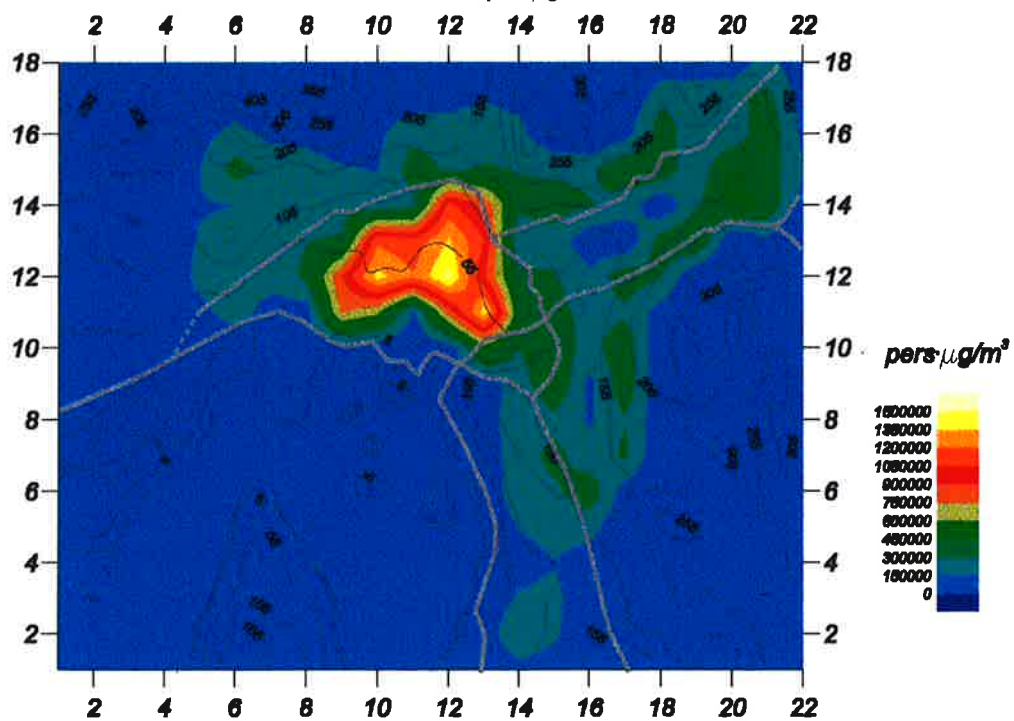
Maksimum: 137 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning NO₂ Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: 1 536 739 pers $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur A1

Tabell A1: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste timekonsentrasjonene av NO₂.

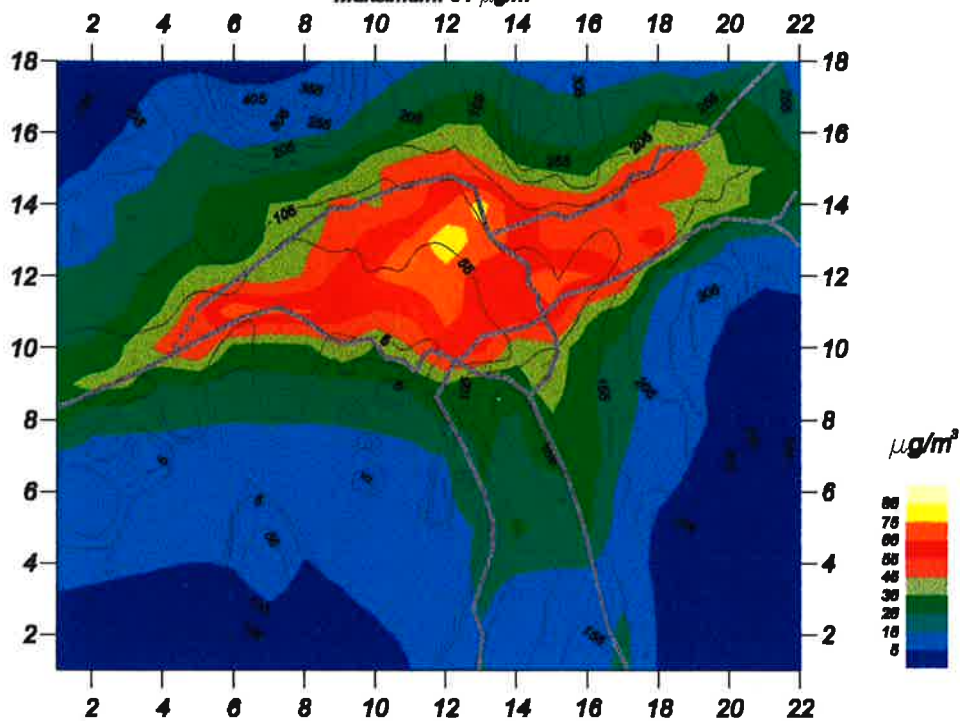
Totalt antall personer betraktet: 469703

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
140.0 -	0	0	.00000
135.0 - 140.0	6242	6242	1.32892
130.0 - 135.0	12507	18749	3.99167
125.0 - 130.0	42924	61673	13.13021
120.0 - 125.0	68273	129946	27.66557
115.0 - 120.0	31478	161424	34.36725
110.0 - 115.0	27733	189157	40.27162
105.0 - 110.0	35075	224232	47.73911
100.0 - 105.0	29777	254009	54.07864
95.0 - 100.0	23745	277754	59.13396
90.0 - 95.0	27571	305325	65.00385
85.0 - 90.0	31184	336509	71.64293
80.0 - 85.0	40646	377155	80.29649
75.0 - 80.0	22499	399654	85.08653
70.0 - 75.0	19581	419235	89.25534
65.0 - 70.0	10070	429305	91.39925
60.0 - 65.0	18204	447509	95.27489
55.0 - 60.0	3497	451006	96.01940
50.0 - 55.0	8861	459867	97.90591
45.0 - 50.0	2167	462034	98.36727
40.0 - 45.0	1992	464026	98.79137
35.0 - 40.0	379	464405	98.87206
30.0 - 35.0	1630	466035	99.21909
25.0 - 30.0	2735	468770	99.80136
20.0 - 25.0	172	468942	99.83798
15.0 - 20.0	215	469157	99.88376
10.0 - 15.0	538	469695	99.99830
5.0 - 10.0	7	469702	99.99979
.0 - 5.0	1	469703	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnskonentrasjonene, PM_{10} Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

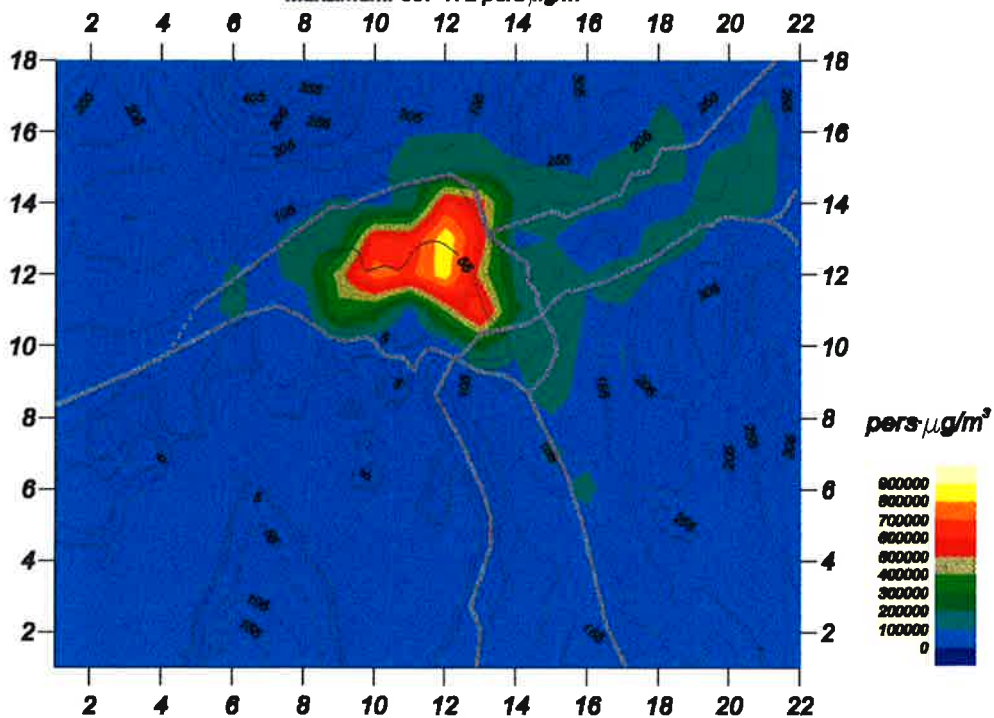
Maksimum: $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning, PM_{10} Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: 887 172 pers $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur A2

Tabell A2: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM_{10} .

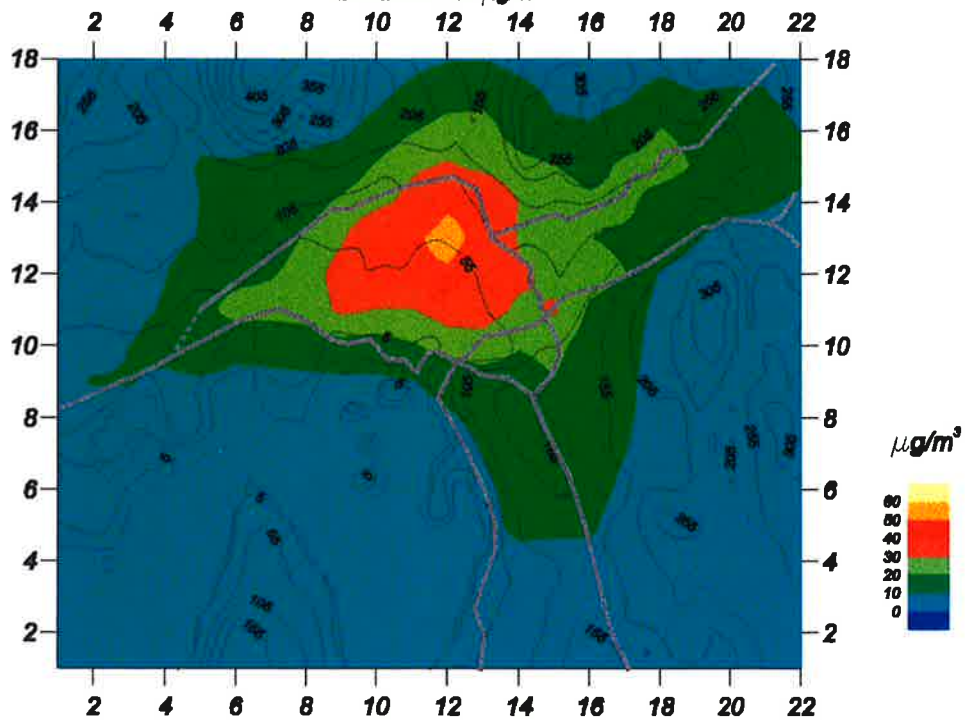
Totalt antall personer betraktet: 469703.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
85.0 -	0	0	.00000
80.0 - 85.0	10531	10531	2.24206
75.0 - 80.0	6832	17363	3.69659
70.0 - 75.0	1849	19212	4.09024
65.0 - 70.0	50491	69703	14.83980
60.0 - 65.0	69734	139437	29.68621
55.0 - 60.0	20933	160370	34.14285
50.0 - 55.0	28111	188481	40.12770
45.0 - 50.0	15045	203526	43.33078
40.0 - 45.0	28118	231644	49.31712
35.0 - 40.0	34299	265943	56.61939
30.0 - 35.0	32859	298802	63.61510
25.0 - 30.0	44089	342891	73.00166
20.0 - 25.0	51164	394055	83.89450
15.0 - 20.0	32841	426896	90.88637
10.0 - 15.0	28082	454978	96.86504
5.0 - 10.0	13877	468855	99.81946
0 - 5.0	848	469703	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene, $PM_{2.5}$ Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

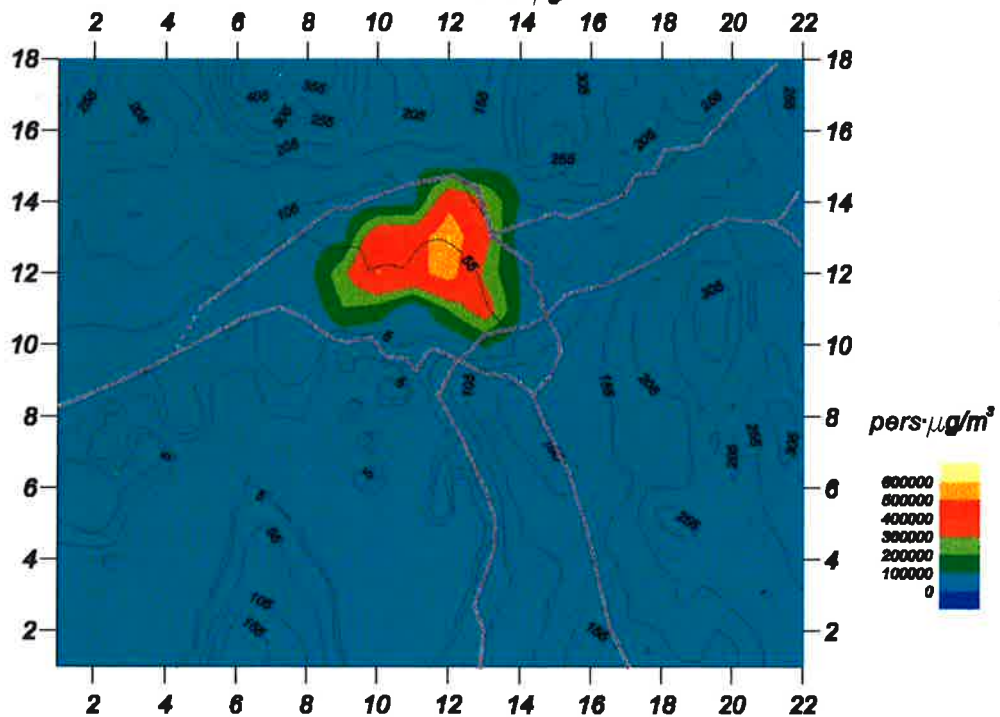
Maksimum: $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning, $PM_{2.5}$ Oslo

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: 609 562 pers $\cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur A3

Tabell A3: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnekonsentrasjonene av $PM_{2,5}$.

Totalt antall personer betraktet: 469703.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
60.0 -	0	0	.00000
55.0 - 60.0	10531	10531	2.24206
50.0 - 55.0	0	10531	2.24206
45.0 - 50.0	40978	51509	10.96629
40.0 - 45.0	36607	88116	18.75994
35.0 - 40.0	15084	103200	21.97133
30.0 - 35.0	33625	136825	29.13011
25.0 - 30.0	34755	171580	36.52946
20.0 - 25.0	54352	225932	48.10104
15.0 - 20.0	68091	294023	62.59764
10.0 - 15.0	112046	406069	86.45229
5.0 - 10.0	46404	452473	96.33172
.0 - 5.0	17230	469703	100.00000

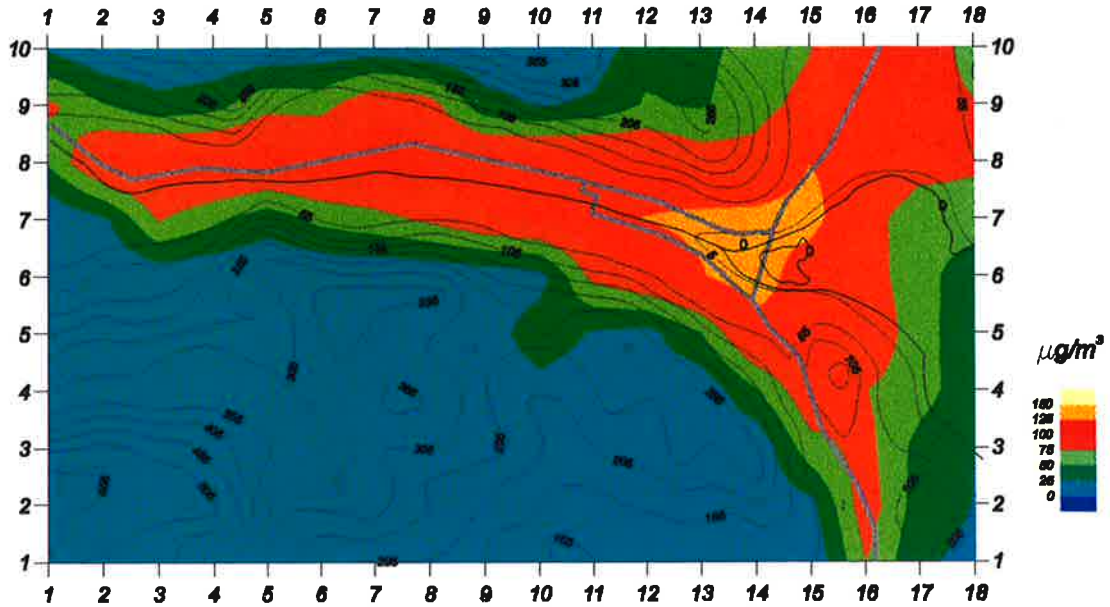
Vedlegg B

Resultater for Drammen

Gjennomsnitt av de 10 høyeste timekons. NO₂ Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

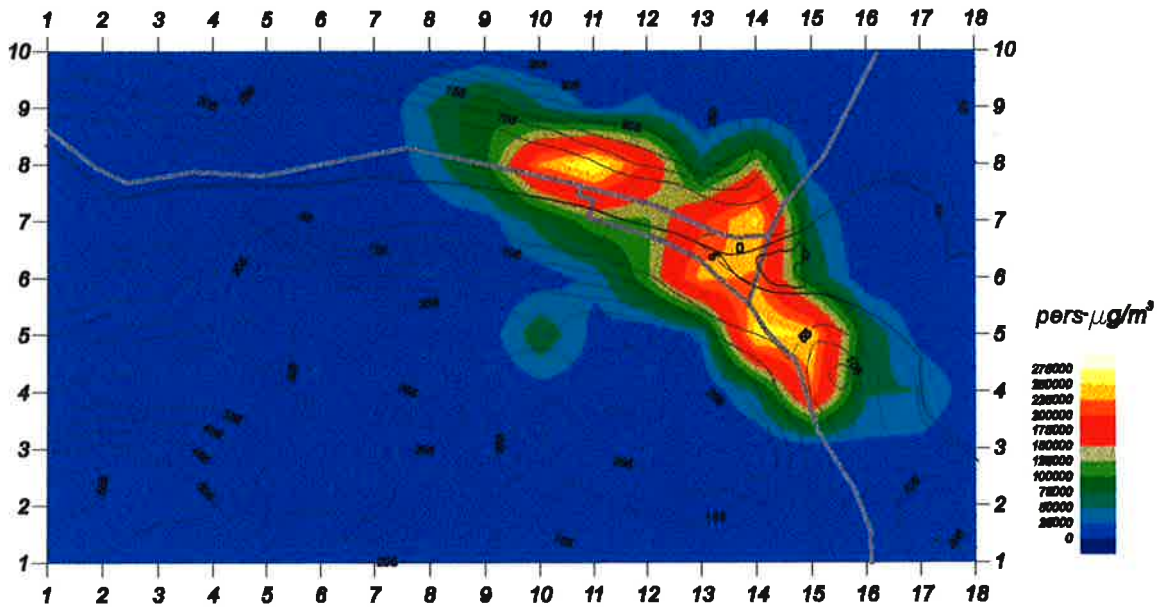
Maksimum: 145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning NO₂ Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: 276 252 $\text{ers} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur B1

Tabell B1: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste timekonsentrasjonene av NO₂.

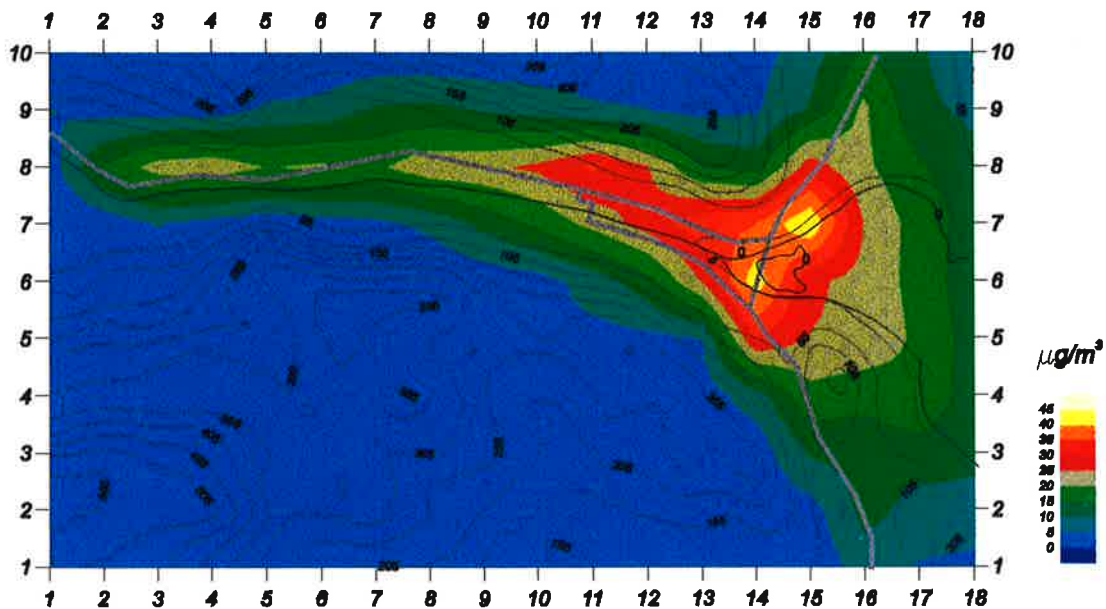
Totalt antall personer betraktet: 51955.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
150,0 -	0	0	.00000
145,0 - 150,0	1524	1524	2.93331
140,0 - 145,0	0	1524	2.93331
135,0 - 140,0	374	1898	3.65316
130,0 - 135,0	3353	5251	10.10682
125,0 - 130,0	951	6202	11.93725
120,0 - 125,0	2065	8267	15.91185
115,0 - 120,0	5311	13578	26.13415
110,0 - 115,0	1147	14725	28.34184
105,0 - 110,0	7120	21845	42.04600
100,0 - 105,0	1920	23765	45.74151
95,0 - 100,0	3205	26970	51.91031
90,0 - 95,0	175	27145	52.24714
85,0 - 90,0	2882	30027	57.79424
80,0 - 85,0	594	30621	58.93754
75,0 - 80,0	799	31420	60.47541
70,0 - 75,0	98	31518	60.66403
65,0 - 70,0	132	31650	60.91811
60,0 - 65,0	1034	32684	62.90829
55,0 - 60,0	0	32684	62.90829
50,0 - 55,0	608	33292	64.07853
45,0 - 50,0	1799	35091	67.54114
40,0 - 45,0	2167	37258	71.71206
35,0 - 40,0	2790	40048	77.08209
30,0 - 35,0	170	40218	77.40929
25,0 - 30,0	1031	41249	79.39371
20,0 - 25,0	3158	44407	85.47204
15,0 - 20,0	57	44464	85.58176
10,0 - 15,0	2391	46855	90.18382
5,0 - 10,0	2121	48976	94.26620
0 - 5,0	2979	51955	100.00000

Gjennomsnitt av de 10 høyeste døgnkons. PM_{10} Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

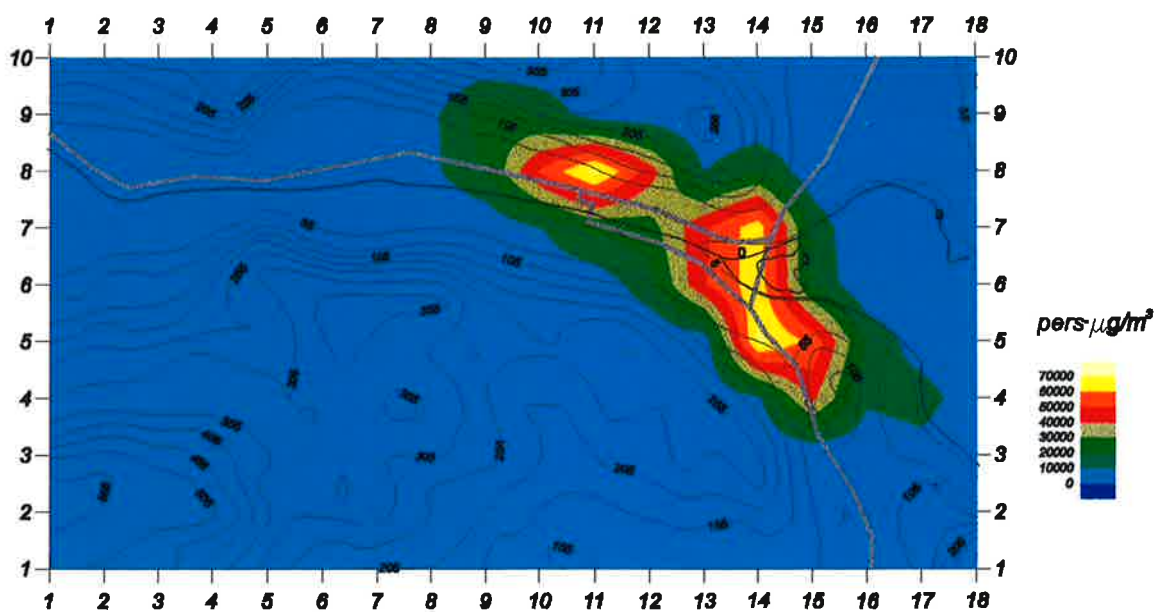
Maksimum: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM_{10} Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: $72\,928 \text{ pers} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur B2

Tabell B2: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM₁₀.

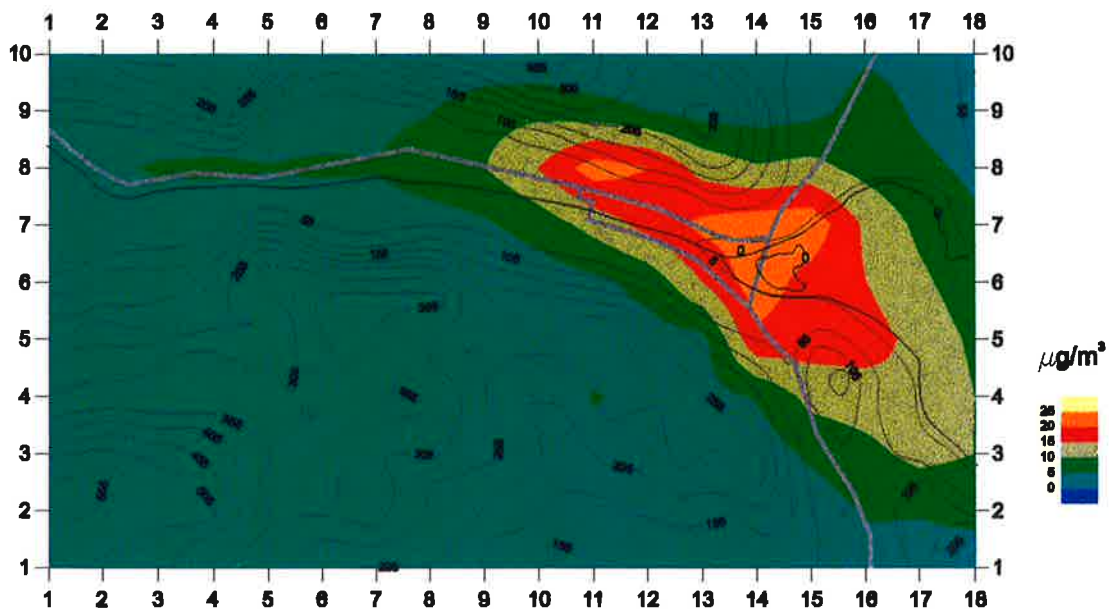
Totalt antall personer betraktet: 51955.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
50,0 -	0	0	.00000
45,0 - 50,0	374	374	.71985
40,0 - 45,0	1524	1898	3.65316
35,0 - 40,0	0	1898	3.65316
30,0 - 35,0	8129	10027	19.29939
25,0 - 30,0	7472	17499	33.68107
20,0 - 25,0	5285	22784	43.85333
15,0 - 20,0	5278	28062	54.01213
10,0 - 15,0	4930	32992	63.50111
5,0 - 10,0	8823	41815	80.48311
.0 - 5,0	10140	51955	100.00000

Gjennomsnitt av de 10 høyeste døgnkons. PM_{2.5} Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

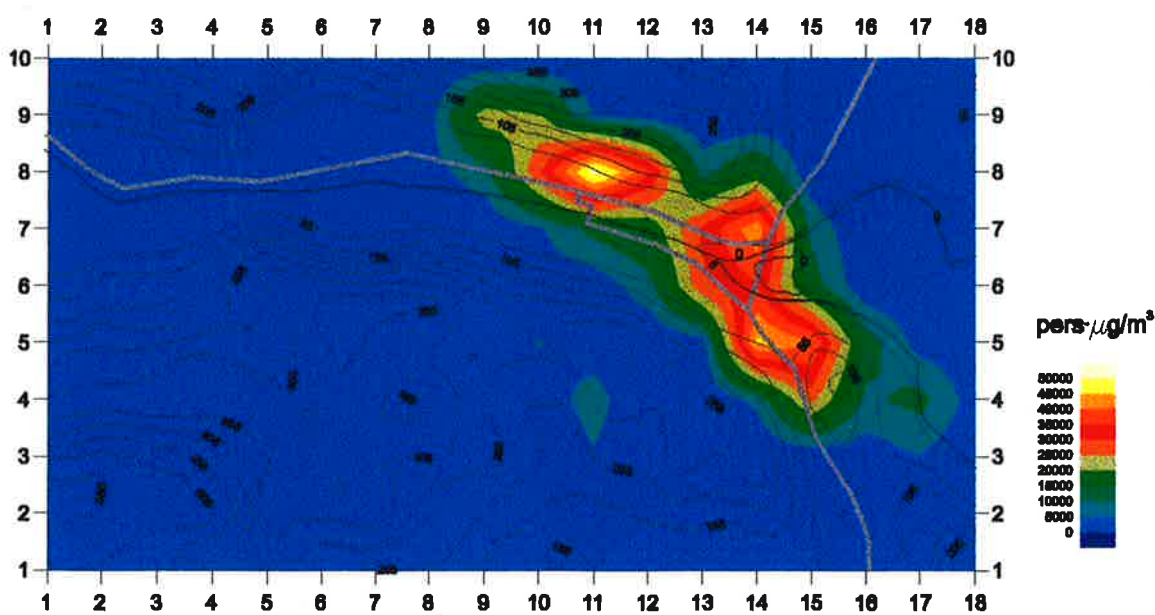
Maksimum: 23.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM_{2.5} Drammen

Oktober 1995 - Mars 1996

Maksimum: 52 875 pers $\cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$



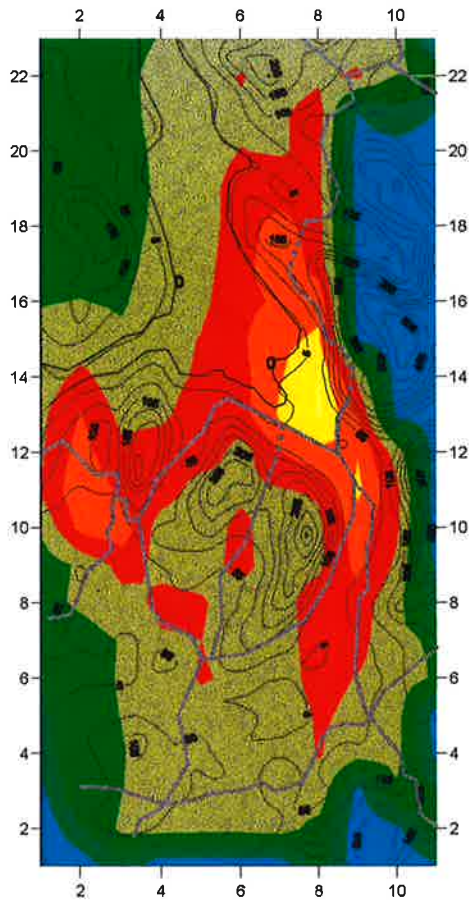
Figur B3

Tabell B3: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM_{2,5}.

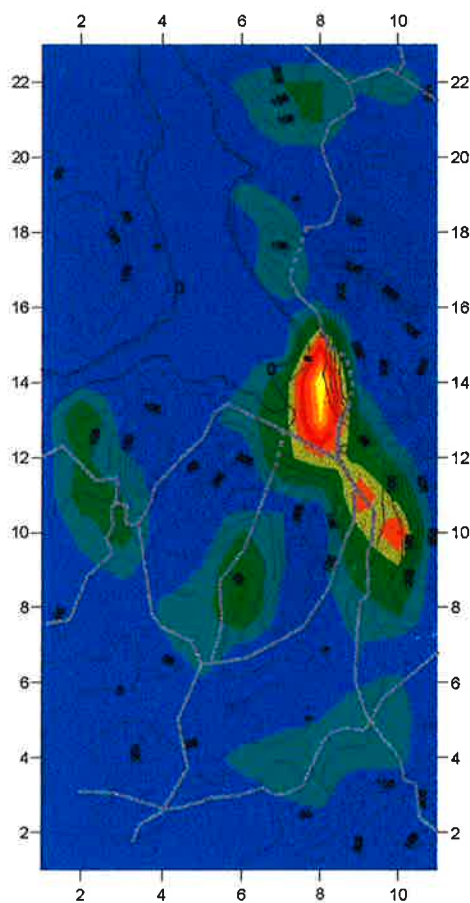
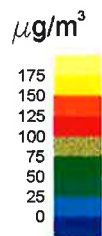
Totalt antall personer betraktet: 51955.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
25.0 -	0	0	.00000
20.0 - 25.0	9397	9397	18.08681
15.0 - 20.0	9162	18559	35.72129
10.0 - 15.0	9748	28307	54.48369
5.0 - 10.0	12893	41200	79.29939
.0 - 5.0	10755	51955	100.00000

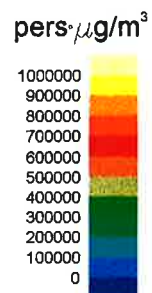
Vedlegg C
Resultater for Bergen



Gjennomsnitt av de 10 høyeste timekons.
 NO_2 Bergen Oktober 1995 - November 1996
 Maksimum: $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning NO_2 Bergen
 Oktober 1995 - Mars 1996
 Maksimum: $1\,012\,977 \text{ pers} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$

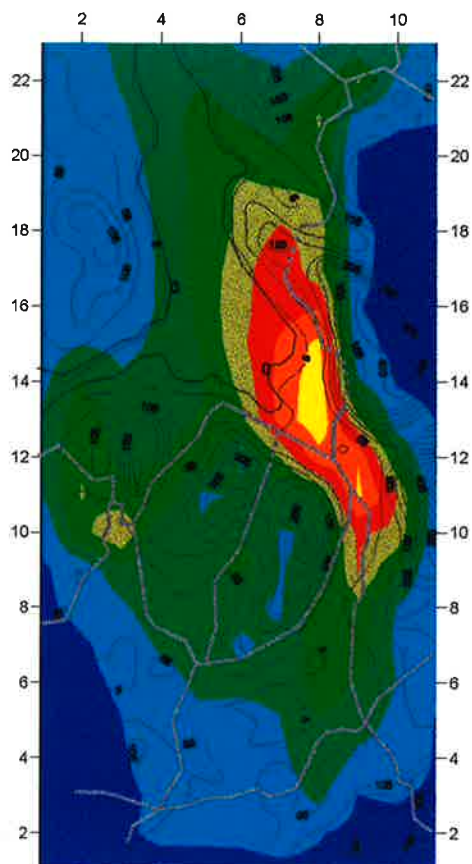


Figur C1

Tabell C1: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste timekonsentrasjonene av NO₂.

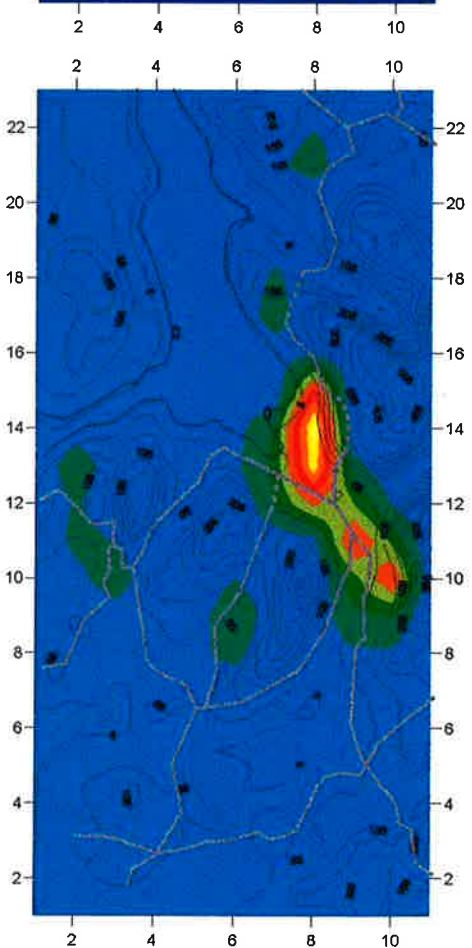
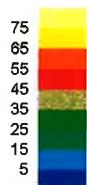
Totalt antall personer betraktet: 184664.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
180.0 -	0	0	.00000
175.0 - 180.0	10990	10990	5.95135
170.0 - 175.0	0	10990	5.95135
165.0 - 170.0	0	10990	5.95135
160.0 - 165.0	0	10990	5.95135
155.0 - 160.0	3861	14851	8.04217
150.0 - 155.0	5977	20828	11.27886
145.0 - 150.0	7565	28393	15.37549
140.0 - 145.0	6023	34416	18.63709
135.0 - 140.0	5715	40131	21.73190
130.0 - 135.0	2967	43098	23.33860
125.0 - 130.0	5146	48244	26.12529
120.0 - 125.0	4943	53187	28.80204
115.0 - 120.0	3710	56897	30.81110
110.0 - 115.0	8161	65058	35.23047
105.0 - 110.0	17458	82516	44.68440
100.0 - 105.0	13503	96019	51.99660
95.0 - 100.0	17307	113326	61.36876
90.0 - 95.0	12254	125580	68.00459
85.0 - 90.0	17782	143362	77.63397
80.0 - 85.0	14045	157407	85.23968
75.0 - 80.0	3902	161309	87.35271
70.0 - 75.0	4521	165830	89.80093
65.0 - 70.0	833	166663	90.25202
60.0 - 65.0	1230	167893	90.91810
55.0 - 60.0	0	167893	90.91810
50.0 - 55.0	549	168442	91.21539
45.0 - 50.0	365	168807	91.41305
40.0 - 45.0	1627	170434	92.29411
35.0 - 40.0	712	171146	92.67968
30.0 - 35.0	0	171146	92.67968
25.0 - 30.0	0	171146	92.67968
20.0 - 25.0	6584	177730	96.24507
15.0 - 20.0	4044	181774	98.43500
10.0 - 15.0	1363	183137	99.17310
5.0 - 10.0	1424	184561	99.94422
.0 - 5.0	103	184664	100.00000



Gjennomsnitt av de 10 høyeste døgnkons.
 PM₁₀ Bergen Oktober 1995 - November 1996
 Maksimum: 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

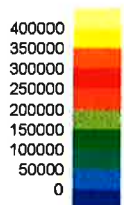
$\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM₁₀ Bergen

Oktober 1995 - Mars 1996
 Maksimum: 411 846 pers· $\mu\text{g}/\text{m}^3$

pers· $\mu\text{g}/\text{m}^3$

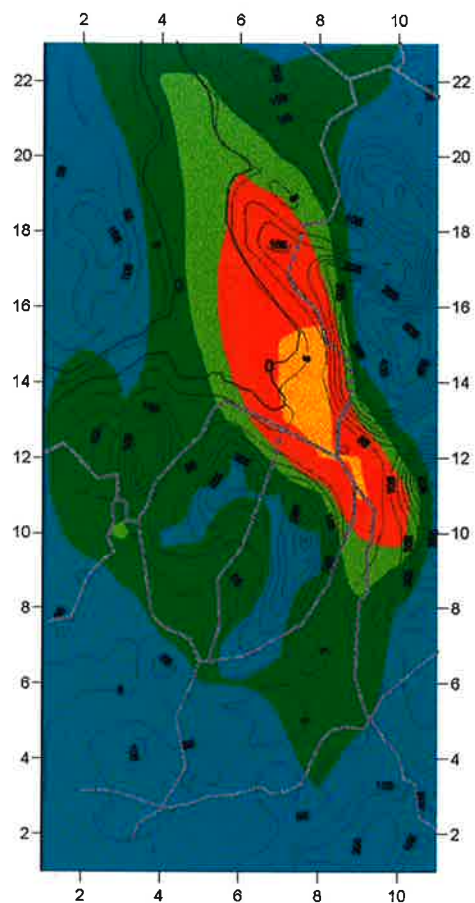


Figur C2

Tabell C2: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM_{10} .

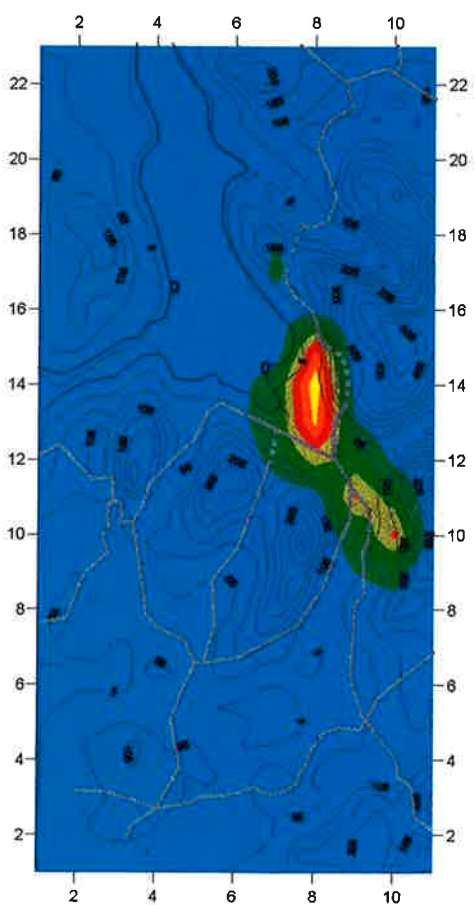
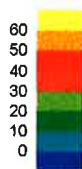
Totalt antall personer betraktet: 184664.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
75.0 -	0	0	.00000
70.0 - 75.0	10990	10990	5.95135
65.0 - 70.0	7894	18884	10.22614
60.0 - 65.0	5806	24690	13.37023
55.0 - 60.0	3957	28647	15.51304
50.0 - 55.0	2122	30769	16.66215
45.0 - 50.0	11475	42244	22.87614
40.0 - 45.0	7374	49618	26.86934
35.0 - 40.0	10364	59982	32.48170
30.0 - 35.0	15354	75336	40.79626
25.0 - 30.0	15594	90930	49.24078
20.0 - 25.0	19284	110214	59.68353
15.0 - 20.0	21400	131614	71.27215
10.0 - 15.0	23290	154904	83.88425
5.0 - 10.0	20850	175754	95.17502
.0 - 5.0	8910	184664	100.00000



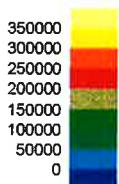
Gjennomsnitt av de 10 høyeste døgnkons.
 PM_{2.5} Bergen Oktober 1995 - November 1996
 Maksimum: 60 µg/m³

µg/m³



Befolkningsbelastning PM_{2.5} Bergen
 Oktober 1995 - Mars 1996
 Maksimum: 345 202 pers·µg/m³

pers·µg/m³



Figur C3

Tabell C3: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av $PM_{2,5}$.

Totalt antall personer betraktet: 184664.

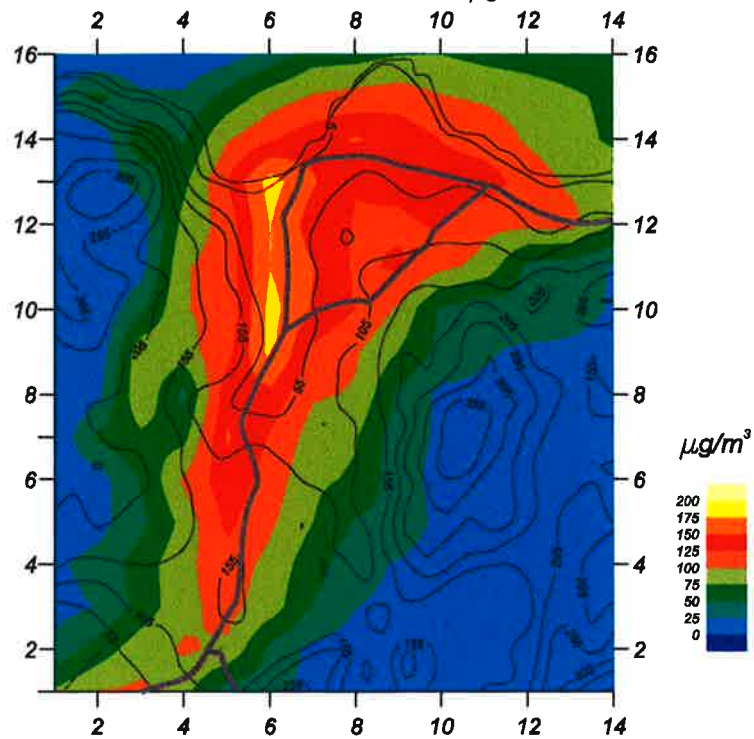
Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
60.0 -	0	0	.00000
55.0 - 60.0	15023	15023	8.13532
50.0 - 55.0	8267	23290	12.61210
45.0 - 50.0	5904	29194	15.80925
40.0 - 45.0	5225	34419	18.63872
35.0 - 40.0	8386	42805	23.17994
30.0 - 35.0	5693	48498	26.26283
25.0 - 30.0	8313	56811	30.76452
20.0 - 25.0	6572	63383	34.32342
15.0 - 20.0	23069	86452	46.81584
10.0 - 15.0	37159	123611	66.93833
5.0 - 10.0	39358	162969	88.25163
.0 - 5.0	21695	184664	100.00000

Vedlegg D
Resultater for Trondheim

Gjennomsnittet av de 10 høyeste timekons. NO_2 Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

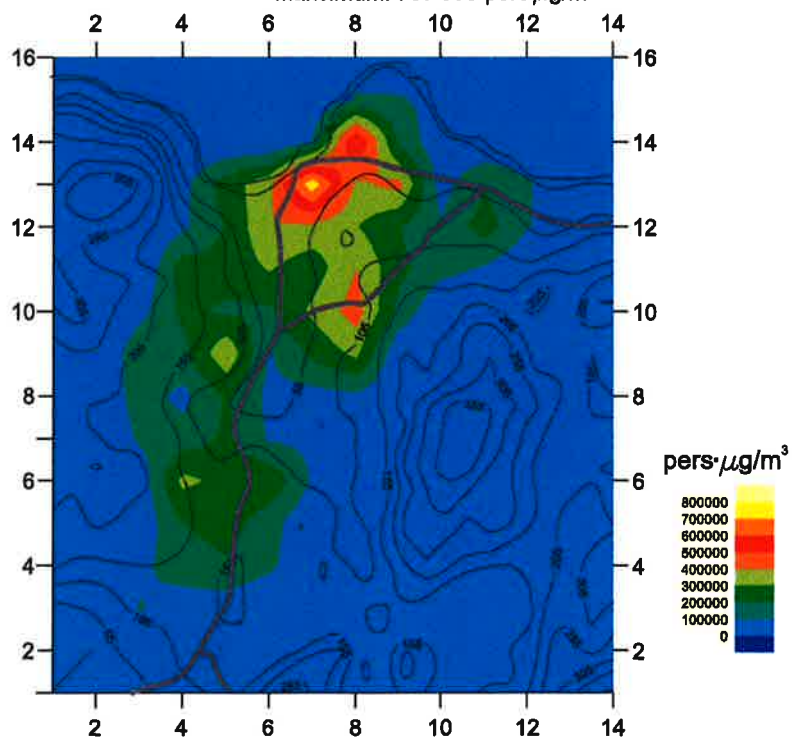
Maksimum: $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning NO_2 Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

Maksimum: 769 690 pers· $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur D1

Tabell D1: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste timekonsentrasjonene av NO₂. Antall personer over angitt "time"-konsentrasjonsverdi.

Antall personer over angitt "time"-konsentrasjonsverdi.

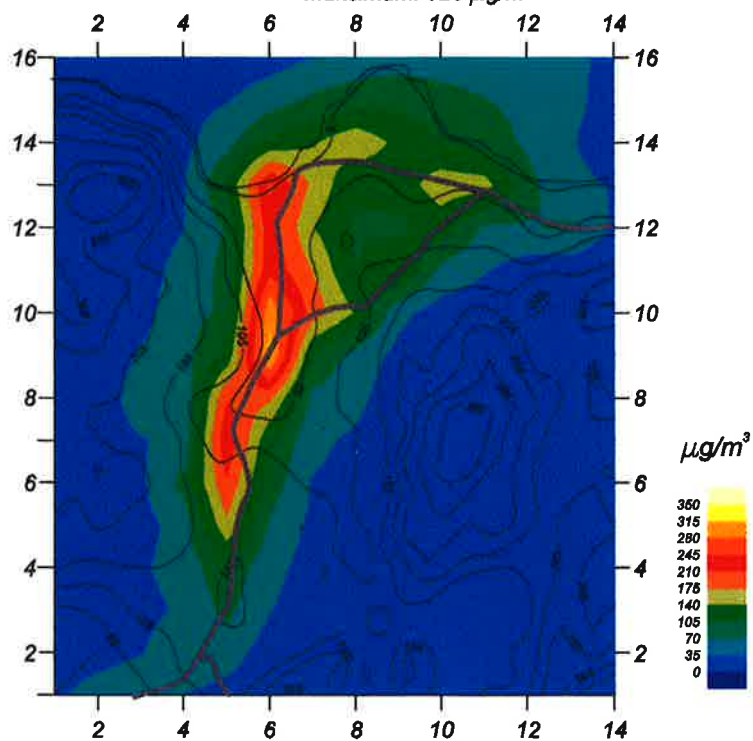
Totalt antall personer betraktet: 136179.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
190.0 -	0	0	.00000
185.0 - 190.0	1998	1998	1.46719
180.0 - 185.0	1474	3472	2.54959
175.0 - 180.0	2245	5717	4.19815
170.0 - 175.0	1756	7473	5.48763
165.0 - 170.0	0	7473	5.48763
160.0 - 165.0	0	7473	5.48763
155.0 - 160.0	0	7473	5.48763
150.0 - 155.0	12054	19527	14.33921
145.0 - 150.0	2144	21671	15.91361
140.0 - 145.0	5975	27646	20.30122
135.0 - 140.0	4456	32102	23.57339
130.0 - 135.0	5162	37264	27.36398
125.0 - 130.0	5637	42901	31.50339
120.0 - 125.0	15879	58780	43.16378
115.0 - 120.0	3255	62035	45.55401
110.0 - 115.0	8372	70407	51.70180
105.0 - 110.0	8159	78566	57.69318
100.0 - 105.0	11015	89581	65.78180
95.0 - 100.0	9563	99144	72.80418
90.0 - 95.0	8587	107731	79.10985
85.0 - 90.0	998	108729	79.84270
80.0 - 85.0	4564	113293	83.19418
75.0 - 80.0	380	113673	83.47322
70.0 - 75.0	947	114620	84.16863
65.0 - 70.0	4914	119534	87.77711
60.0 - 65.0	2523	122057	89.62982
55.0 - 60.0	2014	124071	91.10876
50.0 - 55.0	648	124719	91.58460
45.0 - 50.0	534	125253	91.97674
40.0 - 45.0	4440	129693	95.23715
35.0 - 40.0	477	130170	95.58743
30.0 - 35.0	1112	131282	96.40400
25.0 - 30.0	477	131759	96.75427
20.0 - 25.0	637	132396	97.22204
15.0 - 20.0	1635	134031	98.42266
10.0 - 15.0	890	134921	99.07622
5.0 - 10.0	701	135622	99.59098
.0 - 5.0	557	136179	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnskons. PM_{10} Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

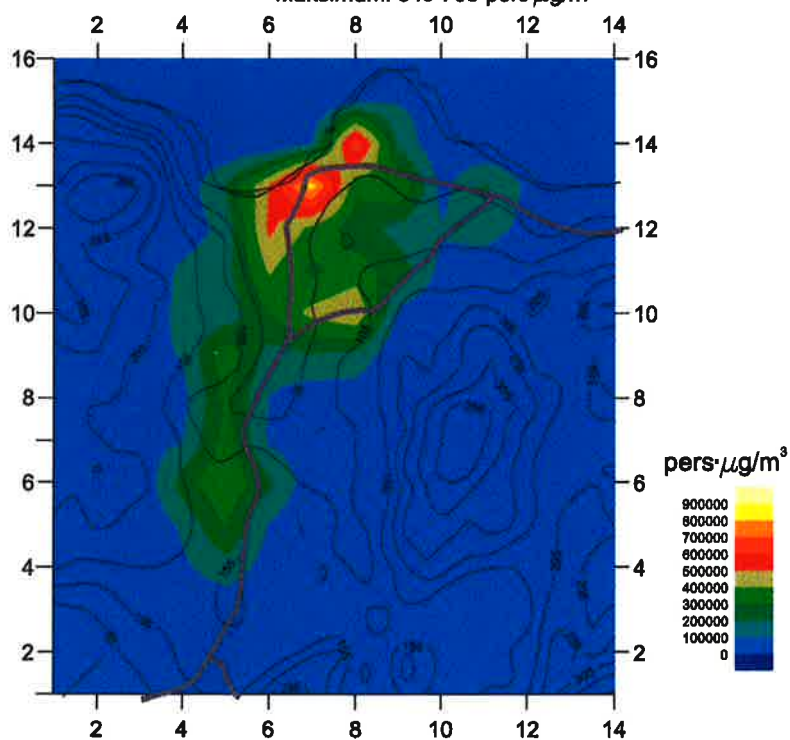
Maksimum: $326 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM_{10} Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

Maksimum: $849\,765 \text{ pers}\cdot\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur D2: Beregnet med ny utslippsmetode

Tabell D2: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM₁₀. Beregnet med ny utslippsmetode.

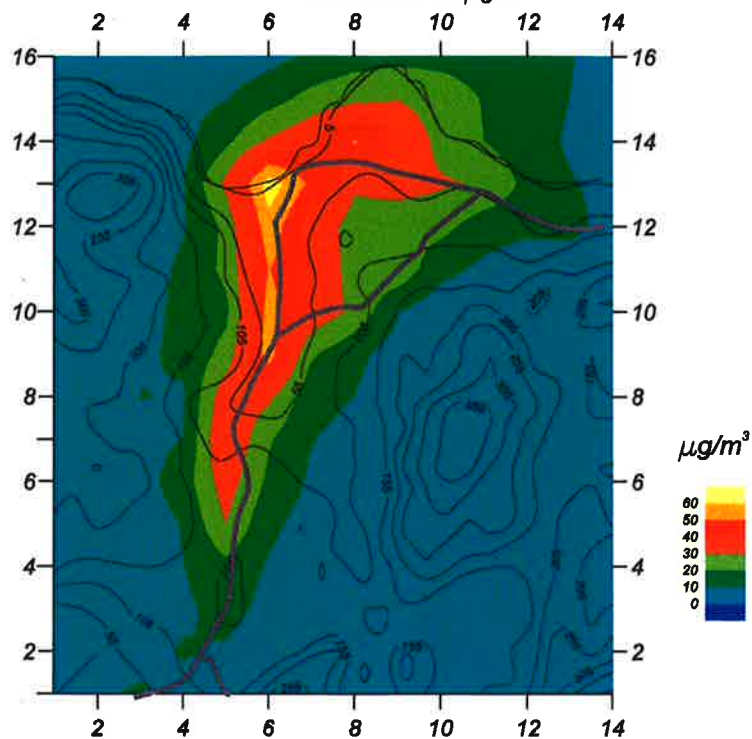
Totalt antall personer betraktet: 136179.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
330.0 -	0	0	.00000
325.0 - 330.0	492	492	.36129
320.0 - 325.0	0	492	.36129
315.0 - 320.0	0	492	.36129
310.0 - 315.0	0	492	.36129
305.0 - 310.0	982	1474	1.08240
300.0 - 305.0	0	1474	1.08240
295.0 - 300.0	0	1474	1.08240
290.0 - 295.0	0	1474	1.08240
285.0 - 290.0	0	1474	1.08240
280.0 - 285.0	0	1474	1.08240
275.0 - 280.0	0	1474	1.08240
270.0 - 275.0	0	1474	1.08240
265.0 - 270.0	0	1474	1.08240
260.0 - 265.0	0	1474	1.08240
255.0 - 260.0	0	1474	1.08240
250.0 - 255.0	1998	3472	2.54959
245.0 - 250.0	0	3472	2.54959
240.0 - 245.0	1410	4882	3.58499
235.0 - 240.0	0	4882	3.58499
230.0 - 235.0	4001	8883	6.52303
225.0 - 230.0	0	8883	6.52303
220.0 - 225.0	0	8883	6.52303
215.0 - 220.0	0	8883	6.52303
210.0 - 215.0	0	8883	6.52303
205.0 - 210.0	1497	10380	7.62232
200.0 - 205.0	1900	12280	9.01754
195.0 - 200.0	2144	14424	10.59194
190.0 - 195.0	0	14424	10.59194
185.0 - 190.0	0	14424	10.59194
180.0 - 185.0	528	14952	10.97967
175.0 - 180.0	1590	16542	12.14725
170.0 - 175.0	0	16542	12.14725
165.0 - 170.0	10915	27457	20.16243
160.0 - 165.0	0	27457	20.16243
155.0 - 160.0	433	27890	20.48040
150.0 - 155.0	1370	29260	21.48643
145.0 - 150.0	0	29260	21.48643
140.0 - 145.0	4425	33685	24.73583
135.0 - 140.0	4318	38003	27.90665
130.0 - 135.0	1297	39300	28.85908
125.0 - 130.0	0	39300	28.85908
120.0 - 125.0	4173	43473	31.92343
115.0 - 120.0	0	43473	31.92343
110.0 - 115.0	4016	47489	34.87248
105.0 - 110.0	5201	52690	38.69172
100.0 - 105.0	7643	60333	44.30419
95.0 - 100.0	4341	64674	47.49191
90.0 - 95.0	2454	67128	49.29395
85.0 - 90.0	1187	68315	50.16559
80.0 - 85.0	4755	73070	53.65732
75.0 - 80.0	2909	75979	55.79348
70.0 - 75.0	3754	79733	58.55014
65.0 - 70.0	1101	80834	59.35864
60.0 - 65.0	5830	86664	63.63977
55.0 - 60.0	7476	94140	69.12960
50.0 - 55.0	3540	97680	71.72913
45.0 - 50.0	6947	104627	76.83050
40.0 - 45.0	8275	112902	82.90706
35.0 - 40.0	2972	115874	85.08948
30.0 - 35.0	6542	122416	89.89345
25.0 - 30.0	1731	124147	91.16457
20.0 - 25.0	4644	128791	94.57478
15.0 - 20.0	1937	130728	95.99718
10.0 - 15.0	2358	133086	97.72872
5.0 - 10.0	1947	135033	99.15846
.0 - 5.0	1146	136179	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnkons. $PM_{2.5}$ Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

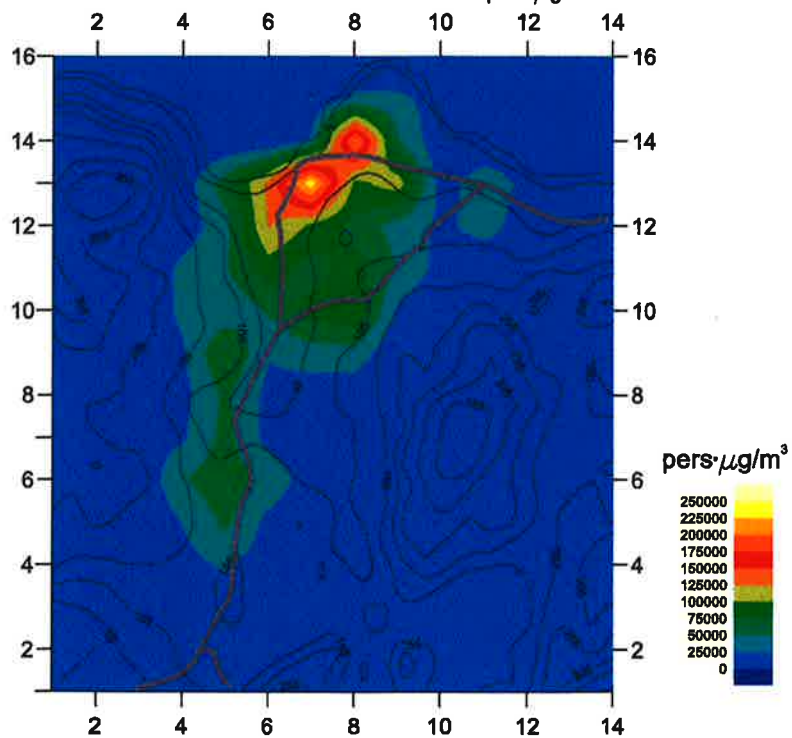
Maksimum: $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning $PM_{2.5}$ Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

Maksimum: $241\ 254 \text{ pers}\cdot\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur D3: Beregnet med ny utslippsmetode.

Tabell D3: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnekonsentrasjonene av PM_{2,5}. Beregnet med ny utslippsmetode.

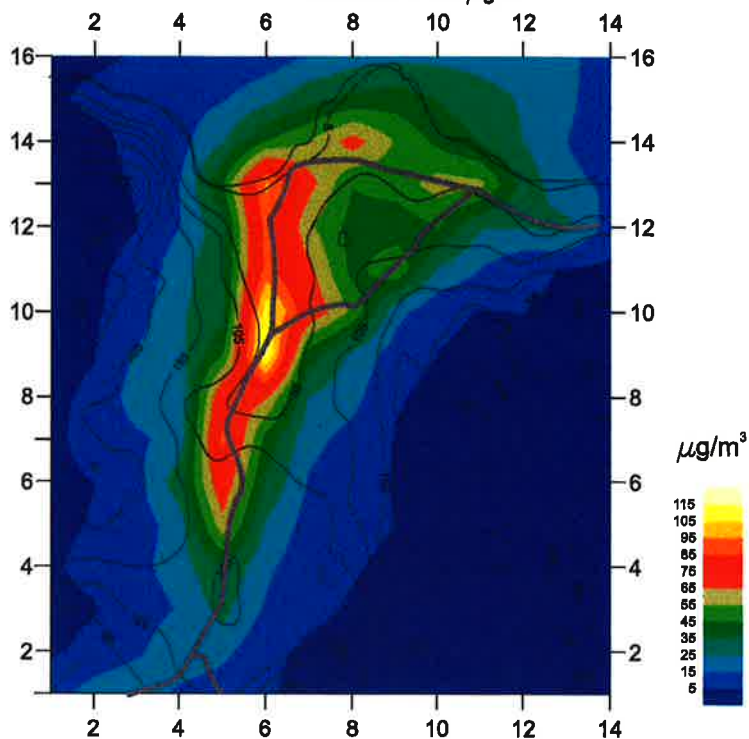
Totalt antall personer betraktet: 136179.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
70.0 -	0	0	.00000
65.0 - 70.0	1998	1998	1.46719
60.0 - 65.0	0	1998	1.46719
55.0 - 60.0	2737	4735	3.47704
50.0 - 55.0	6759	11494	8.44036
45.0 - 50.0	5033	16527	12.13623
40.0 - 45.0	3000	19527	14.33921
35.0 - 40.0	10244	29771	21.86167
30.0 - 35.0	9299	39070	28.69018
25.0 - 30.0	17231	56301	41.34338
20.0 - 25.0	12481	68782	50.50852
15.0 - 20.0	11349	80131	58.84241
10.0 - 15.0	26631	106762	78.39828
5.0 - 10.0	20074	126836	93.13918
.0 - 5.0	9343	136179	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnkons. PM₁₀ Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

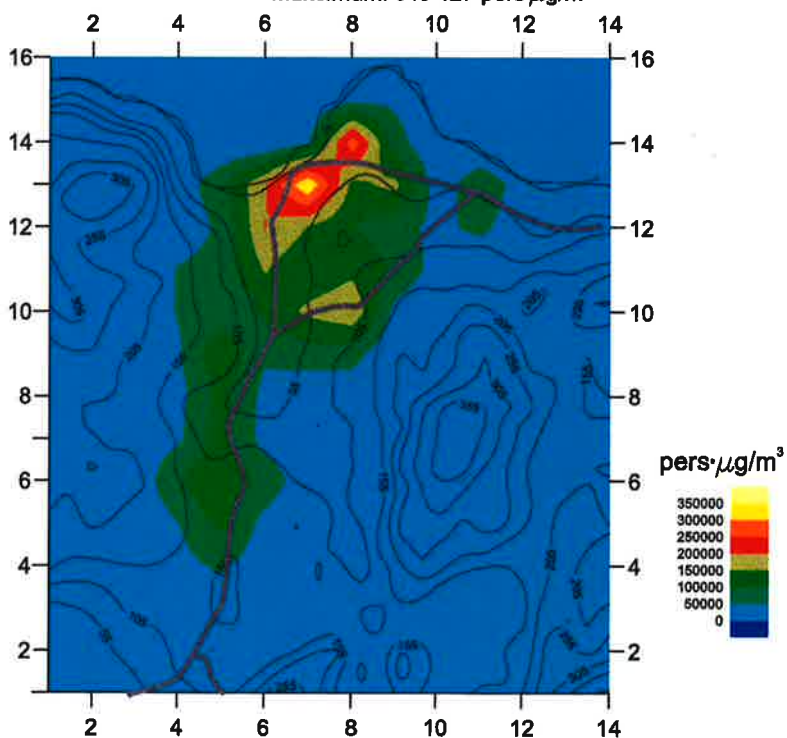
Maksimum: 118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM₁₀ Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

Maksimum: 346 427 pers· $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur D4: Beregnet med opprinnelig utslippsmetode.

Tabell D4: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av PM₁₀. Beregnet med opprinnelig utslippsmetode.

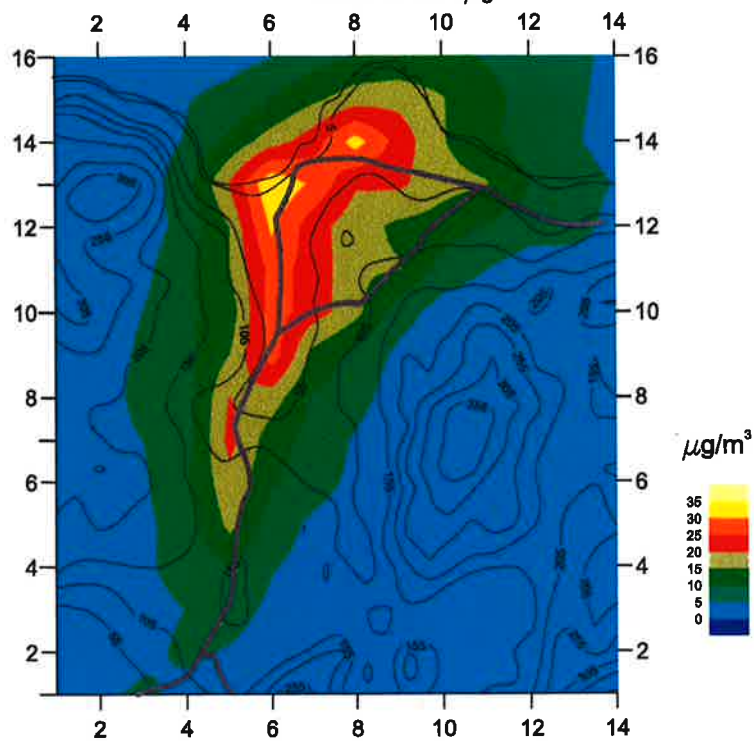
Totalt antall personer betraktet: 136179.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
120.0 -	0	0	.00000
115.0 - 120.0	492	492	.36129
110.0 - 115.0	982	1474	1.08240
105.0 - 110.0	0	1474	1.08240
100.0 - 105.0	0	1474	1.08240
95.0 - 100.0	1998	3472	2.54959
90.0 - 95.0	0	3472	2.54959
85.0 - 90.0	5411	8883	6.52303
80.0 - 85.0	0	8883	6.52303
75.0 - 80.0	1497	10380	7.62232
70.0 - 75.0	4044	14424	10.59194
65.0 - 70.0	11172	25596	18.79585
60.0 - 65.0	1861	27457	20.16243
55.0 - 60.0	4456	31913	23.43460
50.0 - 55.0	7387	39300	28.85908
45.0 - 50.0	7209	46509	34.15284
40.0 - 45.0	14828	61337	45.04145
35.0 - 40.0	4372	65709	48.25193
30.0 - 35.0	13226	78935	57.96415
25.0 - 30.0	4088	83023	60.96608
20.0 - 25.0	16159	99182	72.83208
15.0 - 20.0	15639	114821	84.31623
10.0 - 15.0	10666	125487	92.14857
5.0 - 10.0	6071	131558	96.60667
.0 - 5.0	4621	136179	100.00000

Gjennomsnittet av de 10 høyeste døgnkons. PM_{2.5} Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

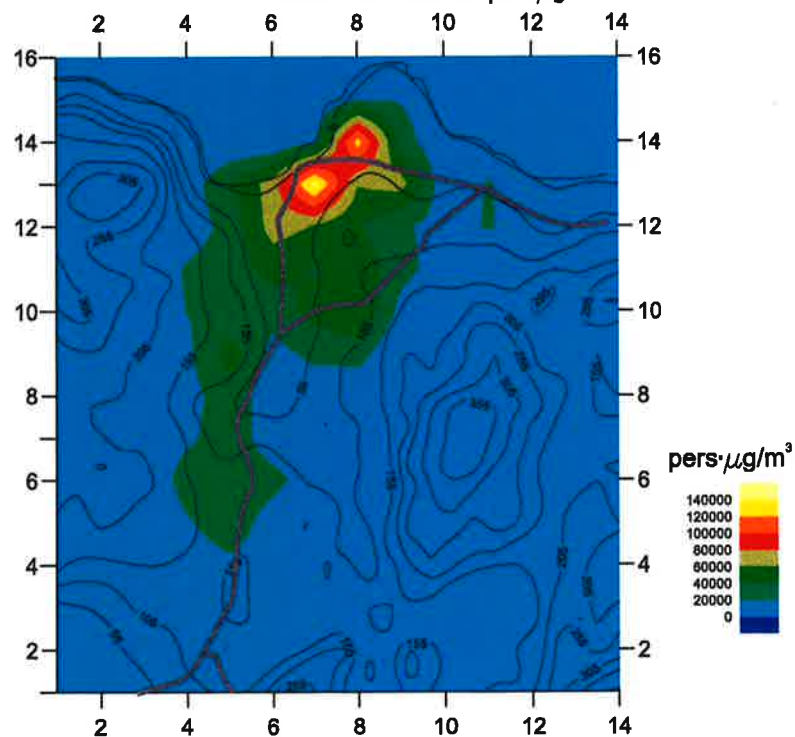
Maksimum: 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Befolkningsbelastning PM_{2.5} Trondheim

Oktober 1994 - Mars 1995

Maksimum: 146 806 pers· $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figur D5: Beregnet med opprinnelig utslippsmetode.

Tabell D5: Befolkningens eksponering for gjennomsnittsfeltet av de 10 høyeste døgnkonsentrasjonene av $PM_{2,5}$. Beregnet med opprinnelig utslippsmetode.

Totalt antall personer betraktet: 136179.

Kons. intervall	Ant. personer	Kumulativt ant. personer	Kumulativ %
35.0 -	0	0	.00000
30.0 - 35.0	8264	8264	6.06848
25.0 - 30.0	8263	16527	12.13623
20.0 - 25.0	17638	34165	25.08830
15.0 - 20.0	22136	56301	41.34338
10.0 - 15.0	18013	74314	54.57082
5.0 - 10.0	47863	122177	89.71794
.0 - 5.0	14002	136179	100.00000



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. OR 24/99	ISBN 82-425-1078-4 ISSN 0807-7207	
DATO 16.4.99	ANSV. SIGN. <i>Øystein Kjør</i>	ANT. SIDER 84	PRIS NOK 205,-
TITTEL Konsentrasjonsfordelingen av NO ₂ , PM ₁₀ og PM _{2.5} i sterke forurensningsepisoder i Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim		PROSJEKTLEDER Leiv Håvard Slørdal	
		NILU PROSJEKT NR. O-99010	
FORFATTER(E) Leiv Håvard Slørdal og Dag Tønnesen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAAGSGIVERS REF.	
OPPDRAAGSGIVER Statens vegvesen, Vegdirektoratet Pb. 8142 Dep. 0033 OSLO			
STIKKORD Modellberegninger	Forurensningsepisoder	Befolkningseksposering	
REFERAT På bakgrunn av timevise modellberegninger av NO ₂ , PM ₁₀ og PM _{2,5} gjennom ett vinterhalvår i byene Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim, er de 10 verste forurensningssituasjonene analysert. Konsentrasjonsfordelinger som framkommer som gjennomsnittet av de 10 verste episodene er sammenholdt med befolkningsfordelingen for å belyse befolkningseksposeringen i slike episoder. Modellberegningene er bare gjort for bybakgrunn, dvs. i et km ² -rutenett.			
TITLE Concentration distribution of NO ₂ , PM ₁₀ and PM _{2,5} in severe pollution episodes in Oslo, Drammen, Bergen and Trondheim			
ABSTRACT Based on hourly model calculations of NO ₂ , PM ₁₀ and PM _{2,5} through a 6 months winter season in the cities of Oslo, Drammen, Bergen and Trondheim, the 10 most severe pollution-episodes have been analysed. Concentration distributions, calculated as the average of the 10 most severe episodes, have been combined with the population distribution in order to reveal the exposure levels in such episodes. The model calculations have only been performed for the city-background, i.e. on a km ² -grid system.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres